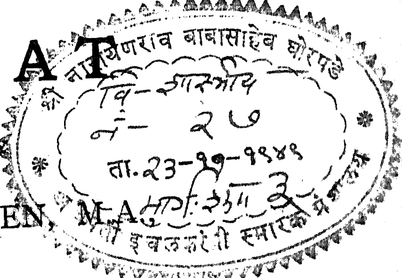
IN

HEAT

BY

W. LARDEN, M.A.

OF CHELTENHAM COLLEGE.



FOURTH EDITION.

Translated into Marathi with the permission of the Author.

BY

BALAJI PRABHAKAR MODAK,

PROFESSOR OF PHYSICAL SCIENCES, RAJARAM COLLEGE, KOLHAPUR.

JUNE 1891.

Registered under Act XXV. of 1867.

Price Rupees Three.

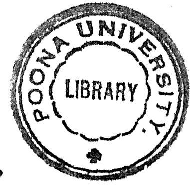
उष्णताशास्त्राचीं मूलतत्त्वें.

प्रोफेसर लार्डन एम्. ए.,

यांनीं केलेल्या

इंग्रजी ग्रंथाचें हें मराठी भाषांतर

ग्रंथकर्त्याच्या परवानगीनें



बाळाजी प्रभाकर मोडक,

कोल्हापूर येथील राजारामकालेजांतील पदार्थविज्ञान-
शास्त्राचे गुरू यांनीं केलें.

जून १८९१.

किंमत तीन रुपये.

मुंबई:
एज्युकेशन सोसैटीच्या छापखान्यांत छापिलें.

TO

Prof. W. LARDEN, M. A.,

OF CHELTENHAM COLLEGE,

THIS TRANSLATION OF HIS WORK IS,

WITH PERMISSION,

Dedicated,

AS A TOKEN OF ESTEEM AND REGARD

BY

The Translator.

मेहेरबान प्रोफेसर लार्डनसाहेब

चेल्टनहाम कालेजांतील

पदार्थविज्ञानशास्त्राचे गुरू यांस,

हें

त्यांच्या ग्रंथाचें मराठी भाषांतर

त्यांच्या परवानगीनें

प्रेम व आदरपूर्वक

भाषांतरकर्त्यांनें

नजर केलें आहे.

मूळ ग्रंथकर्त्यांची प्रस्तावना.

आमच्या शाळांत (इंग्लंदांतील) पदार्थविज्ञान किंवा सृष्टिशास्त्र शिकविण्याचे जे वर्ग आहेत, त्या वर्गांस उष्णता हा विषय जे शिकवितात, त्यांस हा विषय शिकविण्याजोग्या योग्य पुस्तकाची जी उणीव वाटत होती, ती नाहींशी करावी, याच हेतूनें हें पुस्तक लिहिलें आहे.

हा हेतु कोणत्या रीतीनें तडीस नेला आहे, हें समजण्यासाठीं प्रस्तुत पुस्तक लिहितांना ज्या विशेष गोष्टींकडे मुख्यत्वें लक्ष दिलें आहे, तें खालीं सांगितलें आहे.

(१) वाचकास पदार्थविज्ञान शास्त्राचें पूर्वी मुळींच ज्ञान नसून प्रथमतःच तो या पुस्तकाचें अध्ययन करीत आहे, असें समजून विवेचन केलें आहे. या करितां विषयाचें विवेचन व स्पष्टीकरण प्रथमतः फार लांबलचक व अगदीं नव्या विद्यार्थ्यांस समजण्या जोगें असें बालबोध आलेलें आहे. मात्र हळू हळू पुढें विवेचन थोडक्यांत देण्याचा क्रम धरिला आहे.

(२) याच कारणास्तव ज्या विषयांचा उष्णताशास्त्रांत वास्तविक समावेश होत नाहीं, परंतु या शास्त्राच्या अध्ययनास त्या विषयांचें स्पष्टीकरण होणें जरूर आहे असें दिसलें, त्या विषयांचें या पुस्तकांत विवेचन केलें आहे. याचीं उदाहरणें कलम ५० ते ५२; ६०; ६८ ते ८२; २७५ ते २७९ यांत आढळतील.

(३) घन, द्रव आणि वायु यांच्या प्रसरणावरील, विशिष्टउष्णतेवरील आणि उष्णतेच्या यांत्रिक कल्पनेवरील प्रकरणांत जो गणिताचा भाग आलेला आहे, त्याचें विवेचन फार सुलभ रीतीनें केलें आहे. प्रत्येक ठिकाणीं पूर्णपणें स्पष्टीकरण केलेलें असून उदाहरणें ही सोडवून दाखविलीं आहेत.

(४) प्रत्येक प्रकरणाच्या शेवटीं प्रकरणांतील विषयावर प्रश्न दिले आहेत, आणि जेथें जरूर दिसलें तेथें उदाहरणें ही दिलीं आहेत.

(५) बुकाची रचना अशी केली आहे कीं, खालीं नमूद केलेलीं कलमें गाळून अगदीं खालच्या वर्गांतील मुलांस हा विषय शिकवितां यावा आणि हीं कलमें सुद्धां सर्व पुस्तक वरील वर्गांस शिकवितां यावें. हीं कलमें गाळल्यानें कांहीं तुटकपणा दिसूं नये असें धोरण धरलें आहे. क. ३२ ते ४३।४७ ते ४९।५५ ते ५८।६५।६७।८२।८३।१०२ ते १०५।१४५ ते १५३।१७३।१८५।१९८।२०३ ते २१९।२२८।२२९।२३१।२३२।२३४। २४२।२४३।२४६।२५३ ते २५५।२७२।२७४ ते २९३.

या रीतीनें या विषयावरील याहून जास्त बिकट पुस्तकांचें अध्ययन करण्यास भक्कम पाया होईल असें वाटतें. शिवाय या पुस्तकांत विषयाचें ज्ञान इतकें आलेलें आहे, कीं तें पुष्कळ कामास बस होईल.

रकबी येथील मिस्तर हचिसन यांनीं ज्या मला कांहीं सूचना केल्या, त्यांबद्दल मी त्यांचा ऋणी आहें; आणि किंग्स कॉलेज यांतील मिस्तर डे यांनीं आपल्या उष्ण-तेवरील उदाहरणसंग्रहांतेकीं कांहीं उदाहरणें या पुस्तकांत घेण्यास मेहेरबानीनें पर-वानगी दिल्या बद्दलही मी त्यांचा आभारी आहें. आणि विशेषेंकरून मिस्तर एफ्. जे. केड यांनीं फार काळजीपूर्वक मुर्फे तपासलीं आणि पुष्कळ अशुद्धें वगैरे शुद्ध केलीं या बद्दल ही त्यांचा मी फार आभारी आहें.

भाषांतरकर्त्यांची प्रस्तावना.

राजारामकालेजांतील युनिव्हर्सिटीच्या पी. ई. परीक्षेस जाणाऱ्या विद्यार्थ्यांस हा विषय शिकवीत असतां सहजीं असें मनांत आलें कीं, या पुस्तकाची रचना व स्वरूप असें आहे कीं, याचें मराठींत भाषांतर करून छापलें असतां मराठी वाचकांस या विषयाचें अध्ययन करण्यास मोठा उपयोग होईल, आणि विशेषें करून ट्रेनिंग कालेजांतील अगदीं उच्च परीक्षेकरितां अभ्यास करणारांस ही उपयोग होईल, या हेतूनें हें पुस्तक दोनचार वर्षें पी. ई. वर्गांतील मुलांस शिकवीत असतां थोडें थोडें भाषांतर करीत जाऊन पूर्ण केलें. पी. ई वर्गांतील मुलांस जीं कांहीं कलमें व प्रकरणें शिकवावयाचीं नव्हतीं, त्यांचें ही भाषांतर करून सर्व पुस्तकाचें साद्यभाषांतर तयार केलें. मूळ पुस्तकाच्या शेवटीं पुरवणी दाखल ज्या टिपा दिलेल्या आहेत, त्यांचेंही भाषांतर करण्याचा आरंभीं विचार होता. परंतु त्यांतील बराच भाग मराठी वाचकांस चांगला समजण्या जोगा नसल्यानें तो बेत रहित केला.

हें प्रसिद्ध करण्यास ग्रंथकाराची परवानगी घेतली पाहिजे, म्हणून प्रोफेसर लाडेन साहेबांस लिहून त्यांची व पुस्तक प्रसिद्धकर्ते सामसन लो वगैरे मंडळी यांची परवानगी घेतली. आणि तसेंच प्रोफेसर लाडेन साहेब यांच्या विद्यमानें सामसन लो यांजकडून या पुस्तकांत ज्या आकृति आहेत त्यांचे इलेक्ट्रो टाईप म्हणजे विद्युल्लतेनें तयार केलेल्या आकृतींच्या तांब्याच्या नकला विकत देण्याची कबूली घेतली. नंतर हें भाषांतर विद्याखात्याचे अधिकारी यांस दाखविलें व त्यांनीं कोरींव आकृति घालून सुरेख रीतीनें छापल्यास आश्रय देण्याचें अभिवचन दिलें, तेव्हां भाषांतर प्रसिद्ध करण्याचा निश्चय केला, आणि इलेक्ट्रोटाइप विलायतेहून आणविले. येथेंच नवीन कोरींव आकृति करविणें तर फार खर्च येतो, यास्तव इंग्रजी अक्षरें असलेल्याच आकृति आणवून घालण्याचा निश्चय केला, आणि पुस्तक बरेंच मोठें असल्यामुळें बारीक टाईपांत छापण्याचा विचार केला. इलेक्ट्रो टाईपाच्या केवळ कवच्या विलायतेहून आल्या होत्या, त्यांत खिळ्यांचा धातु भरून लाकडी तुकड्यांवर त्यांस चढवावयाचें होतें आणि इलेक्ट्रो टाइप निरुपयोगी असल्यामुळें कांहीं कट नवीन करावयाचे होते. हें काम इतर साधारण छापखान्यांत योग्य रीतीनें होणार नाहीं, म्हणून मुंबईंतील एज्युकेशन सोसैटीच्या छापखान्यांत पुस्तक छापण्यास दिलें, व त्यांनीं पुस्तक फारच चांगल्या रीतीनें छापून तयार केलें आहे. याबद्दल मी त्या छापखान्यावरील अधिकाऱ्यांचाही आभारी आहें.

माझ्या सृष्टिशास्त्रावरील पुस्तकांत उष्णताशास्त्राचा समावेश केला आहे ; परंतु त्या विषयाचें विवेचन त्या पुस्तकांत अगदींच प्रथमारंभीं हा विषय शिकणाऱ्या विद्यार्थ्यांस समजण्याजोगें केलें असल्यानें त्यांत उष्णताविसर्जन या विषयाचें फार तात्विक विवेचन केलें आहे. तें विवेचन या पुस्तकांत पूर्णपणें आलें आहे. तसेंच उष्णतेविषयीं यांत्रिक कल्पना, कर्तृत्वशक्तीचें नित्यत्व, उष्णतेचीं उत्पत्तिस्थानें आणि उष्णता यंत्रें याविषयीं त्यांत मुळींच विवेचन नव्हतें, तें येथें केलें आहे. शेवटल्या दोन तीन विषयांवर मराठीभाषेंत हा बहुतेक पहिलाच लेख आहे, असें म्हटलें तरी चालेल. भाषांतर केवळ शब्दशः न करितां मुळांतील भावार्थ घेऊन मराठी भाषेस शोभेल अशा रीतीनें भाषांतर करण्याचें धोरण धरिलें आहे. तथापि विषय गहन व शास्त्रीय असल्यामुळें व अनेक ठिकाणीं नवीन पारिभाषिक शब्दांची योजना करावी लागल्यामुळें क्वचित क्लिष्टता आली असेल, त्याबद्दल वाचक माफी करतील व ती काढून टाकण्याविषयीं सुचना करतील अशी आशा आहे.

मराठी भाषेंत शास्त्रीय विषयावर जीं फार थोडीं पुस्तकें आहेत, त्यांत आणखी भर घालण्यासाठीं हें एक नवीन पुस्तक प्रसिद्ध करण्याचा जो विचार मनांत आणिला तो निर्विघ्नपणें तडीस गेल्याबद्दल जगन्नियंत्याचे आभार मानून आणि माझ्या इतर शास्त्रीय पुस्तकांस जसा लोकांकडून आश्रय मिळाला तसा या पुस्तकासही मिळेल अशी आशा धरून प्रस्तावना पुरी करितों.

या पुस्तकांत ज्या नवीन पारिभाषिक शब्दांचा उपयोग केला आहे त्यांची यादी शेवटीं दिली आहे. त्यांत सुधारणा करण्याविषयीं ज्या सुचना येतील त्यांचा मोठ्या आदरानें स्वीकार करीन. सोसैटीच्या छापखान्यांत सुरेख बुक छापण्यास व आकृतींचे कट विलायतेहून आणण्यास व येथें तयार करण्यास बराच खर्च आला, यामुळें पुस्तकाची बरीच किंमत ठेवावी लागली. तरी मूळ इंग्रजी पुस्तकाची जी किंमत आहे त्याहून जास्त ठेविली आहे.

राजाराम कालेज,
कोल्हापूर, ता. ८ जून १८९१ इ.

बा. प्र. मोडक.

अनुक्रमणिका.

प्रकरण १ लें.

उष्णता, उष्णमान आणि उष्णमापकें.

प्रकरण २ रें.

घन पदार्थांचें प्रसरण.

प्रकरण ३ रें.

द्रवाचें प्रसरण.

प्रकरण ४ थें.

वायूंवर दाबाचा परिणाम—म्यारिअट याचा सिद्धांत.

प्रकरण ५ वें.

उष्णमानांत फेरफार केल्यानें वायूंवर परिणाम.

प्रकरण ६ वें.

द्रवीभवन आणि घनीभवन.

प्रकरण ७ वें.

बाष्पभवन आणि वाफेचा जोर.

प्रकरण ८ वें.

कढणें.

प्रकरण ९ वें.

आर्द्रतामापन—ढग, धुकें वगैरे.

प्रकरण १० वें.

वहन.

प्रकरण ११ वें.

विशिष्ट उष्णता आणि उष्णतामापन.

प्रकरण १२ वें.

किरणविसर्जन.

प्रकरण १३ वें.

उष्णतेविषयीं यांत्रिक कल्पना इ०.

पृष्ठ.

प्रकरण १४ वें.

उष्णता यंत्रें.

वजनें व मापें.

या पुस्तकांत दशांश मात्रा पद्धतीच्या वजनांचा व मापांचा पुष्कळ ठिकाणीं उपयोग केला आहे. मात्रापद्धतीचें बरेंच वर्णन प्रोफेसर कुककृत रसायनशास्त्राच्या भाषांतरांत केलें आहे, तें वाचकांनीं पाहावें. तत्राप ज्या वजनांचा व मापांचा उपयोग केला आहे, त्यांचें साधारण स्वरूप लक्षांत येण्यापुरती माहिती खालीं दिली आहे.

(१) लांबीचीं मापें.

१० सहस्रांश मात्रा (किंवा १० सश. मा)=१ शतांश मात्रा (१ शश. मा.)
१० शतांश मात्रा (१० शश. मा.) ==१ दशांश मात्रा.
१० दशांश मात्रा (१० दश. मा.) ==१ मात्रा (मा.)
१० मात्रा (मा.) ==========१ दशमात्रा (द. मा.)
१० दशमात्रा (१० द. मा.)======१ शतमात्रा (श. मा.)
१० शतमात्रा (१० श. मा.)======१ सहस्रमात्रा (स. मा.)
१ मात्रा =============३.२८१ फूट.
===============३९.३८१ इंच.

यास्तव हें उघड आहे कीं, लहान मापाचीं मोठीं मापें करणें किंवा मोठ्याचीं लहान करणें झाल्यास केवळ दशांश चिन्ह उजवीकडे किंवा डावीकडे सारल्यानें काम होतें.

(२) आकारमानाचीं मापें.

१००० घनशतांश मात्रा (किंवा १०००घ. शश. मा.)====१ दशांश मात्रा.
१००० घनदशांश मात्रा (किंवा १००० लिटर) ====१ घनमात्रा.
१ लिटर======= १.७६२ पाइंट.

(३) वजनाचीं मापें.

१० सहस्रांश ग्राम (१० सश. ग्रा.)=====१ शतांश ग्राम (शश. ग्रा.)
१० शतांश ग्राम (१० शश. ग्रा.)=====१ दशांश ग्राम (दश. ग्रा.)
१० दशांश ग्राम (१० दश. ग्रा.)=====१ ग्राम (ग्रा.)
१० ग्राम (१० ग्रा.) =======१ दश ग्राम (द. ग्रा.)
१० दश ग्राम (१० द. ग्रा.)======१ शत ग्राम (श. ग्रा.)
१० शत ग्राम (किंवा १००० ग्राम) ====१ सहस्रग्राम (किलो ग्राम.)

४° श उष्णमानावर १ घनशतांश मात्रा शुद्ध पाण्याचें जें वजन असतें त्यास ग्राम संज्ञा दिलेली आहे.

१ ग्राम==========१५.४३ ग्रेन.
१ सहस्र ग्राम========२.२ पौंड.

खालीं कांहीं नेहमी ध्यानांत ठेवण्याच्या ठळक गोष्टी दिल्या आहेत.

(१) हवेचा प्रमाणभूत दाब—ज्या दाबानें ०°श उष्णमानावर भारमापकांतील पाऱ्याचा ७६० सहस्रांश मात्रा उंचीचा स्तंभ तोलला जातो, त्या दाबास हवेचा प्रमाणभूत दाब असें म्हणतात. ही उंची २९.९२२ इंच किंवा जवळ जवळ ३० इंच इतकी असते.

(२) ०°श उष्णमान व ७६० सश. मा. दाब असतां १ लिटर ह्मणजे एक घन दशांश मात्रा किंवा १००० घनशतांशमात्रा कोरड्या हवेचें वजन १.२९३ ग्राम असतें.

(३) हवेच्या संबंधानें पाण्याच्या वाफेचें दादर्य. ·६२२ असतें.

(४) ०°श उष्णमान व ७६० सश. मा. दाब असतां १ ग्राम हैड्रोजन ११. २ लिटर मापें भरतो.

(५) नित्य वायुरूपांत असणाऱ्या वायूंचा १° श. चा प्रसरणगुणक $\frac{1}{273}$ किंवा .००३६६५ असतो.

उष्णता.

प्रकरण १.

उष्णता—उष्णतामान—उष्णमापकें.

उपोद्घात—उष्णताशास्त्राच्या अध्ययनास आरंभ करण्यापूर्वी शास्त्र हें नांव आपण कशास देतों, याविषयीं चार शब्द लिहिले असतां ते वायां जाणार नाहींत असें वाटतें. कारण येणेंकरून प्रस्तुतच्या विषयाचें अध्ययन आपण कोणत्या रीतीनें केलें पाहिजे हें आपणास जास्त चांगलें समजेल.

आपण आपल्या सभोंवार पाहिलें म्हणजे भिन्न भिन्न जातींच्या अशा नाना तऱ्हेच्या क्रिया चाललेल्या आहेत असें आपल्या नजरेस पडतें:—तारे फिरत आहेत; बाष्पभवन चाललें आहे; कित्येक पदार्थ वितळतात; कित्येक प्रसरण पावतात; कांहीं पदार्थांस एकमेकांवर घांसिलें म्हणजे त्यांतून आकर्षक व प्रतिसारक व्यापार घडूं लागतात; आणि गुरुत्वाकर्षणाच्या नियमाविरुद्ध लोखंड व पोलाद यांच्या तुकड्यांनीं चमत्कारिक अशीं कित्येक आकर्षक कार्यें घडतात. याप्रमाणें अनेक क्रिया चाललेल्या आपण पाहतों.

या ज्या असंख्य क्रिया आपण पाहतों, त्यांची व्यवस्था लावण्याकरितां ज्या क्रियांचा परस्पर संबंध आहे, अशा क्रियांस एकेका वर्गांत घालून त्यांचें वर्गीकरण केलें पाहिजे. उदाहरणार्थ—प्रसरण, बाष्पभवन, वितळणें यांचा परस्परांशीं संबंध असून या सर्व क्रिया जिला आपण "उष्णता" म्हणतों, तिच्या कार्यानें घडतात असें दिसून येतें.

याप्रमाणें व्यवस्था लाविली व एकेका वर्गांतील क्रिया कोणत्या विवक्षित नियमांनीं घडतात तें काढिलें, आणि असल्या क्रिया अमकअमक कारणांनीं व नियमांनीं घडतील असें सांगतां येण्याजोगें, क्रिया घडण्याच्या कारणांचें ज्ञान झालें, म्हणजे शास्त्र बनलें असें आपणास म्हणतां येईल.

वास्तव एकमेकांशीं ज्यांचा निकट संबंध आहे, व ज्यांस विशेष गृहीत कल्पनांनीं एकमेकांत गोंविलेलें आहे, अशा एका वर्गांतील सृष्टिक्रियांचें व्यवस्थित रीतीनें ज्ञान वर्णन केलें असतें, त्यास च स्थूल मानानें शास्त्र अशी संज्ञा देतां येईल. वर ज्या गृहीत कल्पना सांगितल्या त्या प्रयोगाधारें बसविलेल्या असून त्यांचें एकसारखें पुष्टीकरण होत चाललें आहे व तसेंच त्यांची प्रतीतिही वरचेवर प्रत्ययास येत आहे.

२. **उष्णतेचें स्वरूप**—उष्णतेचें ज्ञान अगदीं प्रथम आपणास स्पर्शेंद्रियानें होतें. आपण म्हणतों कीं अमका पदार्थ उष्ण लागतो. परंतु उष्ण लागण्याशिवाय

उष्णतेपासून दुसरे परिणाम घडतात; आणि ह्या दुसऱ्या परिणामांवरून आपणास उष्णतेच्या स्वरूपाचें खरें ज्ञान होतें.

उष्णता कशास म्हणतात, याचा आतां आपण विचार करूं. हा जर प्रश्न कोणास विचारिला, तर आपणास असें आढळून येईल कीं, उष्ण पदार्थ कशास ह्मणतात, असा प्रश्न विचारिला असतां जें उत्तर मिळेल, तेंच उत्तर वरील प्रश्नास मिळेल.

ही गोष्ट लक्ष्यांत ठेवण्याजोगी महत्वाची आहे. कधीं कधीं आपण "उष्णता हा एक पदार्थ आहे," असें क्वचित् बोलून जातों. परंतु वस्तुतः जो पदार्थ उष्ण आहे, त्यापासून उष्णतेस वेगळें काढितां येत नाहीं.

ह्मणून पदार्थांवर उष्णतेचे परिणाम काय घडतात, याचा विचार आपणास केला पाहिजे; आणि या परिणामांचा विचार करून, आणि ज्या रीतींनीं उष्णता उत्पन्न करितां येते त्यांचाही विचार करून, उष्णतेचें स्वरूप काय आहे, हें समजून घेण्यास यत्न केला पाहिजे.

स्पर्शेंद्रियास उष्ण लागणें याशिवाय खालील गोष्टी उष्णतेविषयीं आपल्या अनुभवास येतात.

(१) पदार्थांस उष्ण केलें ह्मणजे ते साधारणतः प्रसरण पावतात.

(२) घन पदार्थ वितळतात, आणि द्रव पदार्थांस फार उष्ण केलें ह्मणजे त्यांचें रूपांतर होऊन त्यांस वायुरूप प्राप्त होतें.

(३) पदार्थांवर हातवड्यानें ठोकून किंवा दुसऱ्या कोणत्याही रीतीनें त्यास चेपून, दाबून, चिरडून किंवा पिळून उष्णता उत्पन्न करितां येते; त्याचप्रमाणें गतिविशिष्ट पदार्थास एकाएकीं थांबवूनही उष्णता उत्पन्न करितां येते; आणि ज्या अनेक रीतींनीं यांत्रिक कर्तृत्वशक्ति नष्ट होते, त्या सर्व रीतींनीं उष्णता उत्पन्न होते. याविषयीं प्रकरण १३ मध्यें पूर्ण विचार केला जाईल.

(४) पदार्थ थंड असतां जेवढें त्याचें वजन असतें, त्याहून त्या पदार्थास उष्ण केलें ह्मणजे त्याचें वजन जास्त किंवा कमी होत नाहीं.

(५) एक पदार्थ दुसऱ्याहून जास्त उष्ण असला म्हणजे त्यांतून उष्णता दुसऱ्या पदार्थांत जाते.

ह्या ज्या गोष्टी अनुभवास येतात, त्या सर्वांचीं कारणें सांगतां येण्याजोगें उष्णतेचें स्वरूप फारकरून काय असावें, हें आतां आपण पाहूं.

पूर्वींची कल्पना—पूर्वीं नंबर ५ या गोष्टीवरून उष्णता हा एक द्रवरूपी पदार्थ आहे असें समजत असत, व त्यास **उष्णताद्रव** असें ह्मणत. ह्या कल्पनेवरून नं० ५ या परिणामाचें कारण सांगतां येतें; कारण जर एका पदार्थांत दुसऱ्या पदार्थांपेक्षां जास्त द्रव असेल, तर त्यांतून ज्यांत कमी द्रव आहे त्याकडे उष्णताद्रव स्वाभाविकच वाहत जाईल.

तसेंच नं० १ गोष्टीचेंही कारण सांगतां येईल. कोरडा स्पंज पाण्यांत भिजविला ह्मणजे जसा फुगतो त्याप्रमाणें उष्णतेनें पदार्थ फुगतात, असें जर आपण समजलों, तर नं० १ गोष्टीचेंही कारण सांगतां येतें.

उष्णतारूपद्रवांत जणूं काय पदार्थ विद्रुत होऊन तो वितळतो, असें जर आपण समजलों तर, नं० २ परिणामाचेंही अंशतः कारण सांगतां येतें.

परंतु नं० ३ आणि नं० ४ यांचीं कारणें या कल्पनेवरून आपणांस सांगतां येत नाहींत. तोफेच्या नळीस भोंक पडतांना पुष्कळ उष्णता उत्पन्न होते असें आढळतें. वरच्या कल्पनेप्रमाणें स्पंज पिळून त्यांतून जसें पाणी काढावें, त्याप्रमाणेंच लोखंडाचा चुरा जो खालीं पडतो त्यांतून पिळूनही उष्णता निघाली पाहिजे. परंतु ही उष्णता चुऱ्याच्या आकाराच्या मानानें पाहतां अत्यंत असते. आणखी असेंही आढळतें कीं, चुऱ्यांतून ही सर्व उष्णता गेल्यावरही चुऱ्याचें उष्णमान बाकीच्या लोखंडापासून भिन्न असतें असें नजरेस येत नाहीं. शिवाय असेंही दिसून येतें कीं, तोफेच्या नळीस भोंक पाडण्यामध्यें जें काम होतें, त्यावरच केवळ उष्णतेचें परिमाण अवलंबून असतें, आणि दुसऱ्या कशावर अवलंबून असत नाहीं. आतां नं० ४ गोष्टीविषयीं विचार करूं लागल्यास आपणास असें गृहीत घ्यावें लागतें कीं, या आपल्या द्रवास मुळींच वजन नाहीं. ह्मणजे जे गुरुत्वविशिष्ट दुसरे द्रव आपणांस माहीत आहेत, त्यांहून हा द्रव अगदीं भिन्न आहे, असें गृहीत घेणें आपणांस भाग पडतें.

ह्मणून ही वरील कल्पना सर्वमान्य होण्यास मोठ्या महत्वाच्या अडचणी आहेत हें उघड आहे.

प्रस्तुतची कल्पना—हल्लीं असें समजतात कीं, ज्यास आपण साधारणपणें पदार्थ म्हणतों, तशा जातीचा उष्णता हा पदार्थ नाहीं. परंतु जेव्हां पदार्थाचे कण फार क्षुब्ध, चल, किंवा कंपित अशा स्थितींत असतात, तेव्हां तो पदार्थ उष्ण आहे असें समजतात.

याचा अर्थ असा कीं, सर्व पदार्थांचे कण नेहमीं चल असतात. मात्र हें चलन इतकें सूक्ष्म व गुप्त असतें कीं, तें आपल्या नजरेस येत नाहीं; आणि जेव्हां पदार्थ जास्त उष्ण होतो, तेव्हां हें चलन जास्त जोरानें घडतें.

ह्या कल्पनेवरून नं० १ गोष्टीचें कारण सांगतां येतें. कारण ज्याप्रमाणें कणांचें चलन जास्त होईल, त्याप्रमाणें ते एकमेकांपासून जास्त अवकाशांतून चलन पावतील. ह्मणून सर्व पदार्थ जास्त जागा व्यापील.

यावरून नंबर २ गोष्टीचें कारण असें सांगतां येतें. ज्याप्रमाणें चलन वाढेल, याप्रमाणें पदार्थाच्या कणांस एकत्र ठेवणारें आकर्षण स्वाभाविकच कमी होत जाईल. म्हणून ते कण एकत्र न राहतां शिथिल होतील. यास्तव पदार्थास द्रवरूप येईल.

नंबर ३ गोष्टीचेंही कारण सांगतां येतें. पदार्थावर हातवड्याचे आघात पडले, म्हणजे स्वाभाविकच त्याचे कण हालतील; आणि त्यास जास्त चलन प्राप्त होईल.

नंबर ४ गोष्टीचेंही कारण सांगतां येतें. पदार्थाच्या कणांस जास्त चलन मिळाल्यानें त्याच्या वजनांत कांहीं फेरफार होणार नाहीं हें स्वाभाविक आहे.

नंबर ५ गोष्टीचेंही कारण सांगतां येतें. जास्त जोरानें आंदोलन पावणारा पदार्थ कमी जोरानें आंदोलन पावणाऱ्यास आपल्यापैकीं कांहीं गति देतो; आणि ह्याप्रमाणें हें चलन एका पदार्थांतून दुसऱ्या पदार्थांत जातें.

याप्रमाणें उष्णतेविषयीं ज्या गोष्टी व जे परिणाम आपल्या अनुभवास येतात, त्या सर्वांची कारणें प्रस्तुतच्या कल्पनेवरून सांगतां येतात. शिवाय कित्येक स्थितींत अमके परिणाम घडतील, हेंही लोकांस या कल्पनेवरून सांगतां येऊं लागलें आहे.

वास्तव **उष्णता हा एक गतीचा प्रकार आहे,** असें आपणास म्हणतां येईल ; व असें म्हणणें बरेंच बरोबर होईल.

टीप.—पुढील एका प्रकरणांत आपणांस असें कळेल कीं, वास्तविक म्हटलें म्हणजे 'उष्णता ही कर्तृत्वशक्ति आहे'; असें आपण समजलें पाहिजे. परंतु उष्णतेच्या स्वरूपाविषयीं बारीक विचार करणें या स्थळीं अप्रासंगिक होईल.

उष्णतेच्या परिमाणाविषयीं पुढें उल्लेख केलेला पाहून वाचकांस कदाचित् चमत्कार वाटेल. कारण आतांच वर सांगितलें कीं, उष्णता ही गति आहे, आणि पदार्थ नाहीं. परंतु यंत्रशास्त्रांत ज्याप्रमाणें आपण चालकत्व मापितों, व चालकत्व हें गतीचें परिमाण दर्शवितें, त्याचप्रमाणें येथेंही उष्णतेचें परिमाण मापूं. प्रकरण ६ मध्यें उष्णतेच्या मापनाविषयीं विचार केला आहे. तें समजल्यावर ही गोष्ट वाचकांच्या स्पष्ट ध्यानांत येईल.

३. उष्णमान.—ज्या मानानें पदार्थ लहान किंवा मोठा असेल, त्या मानानें हें चलनवलन एकंदरींत जास्त किंवा कमी असतें. लोखंडाच्या सर्व कांबीतील उष्णता, तिच्या एका तुकड्यांतील उष्णतेपेक्षां जास्त असते. कढत्या पाण्याच्या हांड्यांतील सर्व पाण्यांत जी उष्णता असते, ती त्यांतीलच एक पंचपात्रीभर पाण्यांतील उष्णतेपेक्षां जास्त असते. तसेंच उष्णतेचें मान म्हणजे तीव्रपणाही जास्त कमी असतो. उदाहरणार्थ लालभडक केलेल्या लोखंडी गजाचे कण थंड गजाच्या कणांपेक्षां जास्त जोरानें चलन पावत असतात.

म्हणून आपणास उष्णतेचें **परिमाण** व उष्णतेचा **तीव्रपणा** या दोहोंचा विचार केला पाहिजे. जेव्हां आपण उष्णतेच्या **माना**विषयीं किंवा **तीव्रपणा**विषयीं विचार करितों, तेव्हां **उष्णतामान** किंवा **उष्णमान** या शब्दांचा उपयोग करितों.

याचा अर्थ स्पष्ट करून दाखविण्याकरितां कांहीं उदाहरणें देऊं.

(१) लालभडक झालेल्या पळीस हात लाविला असतां भाजतो. कारण तिचें उष्णमान फार जास्त असतें. थोड्या गरम असलेल्या अशा वीस पळ्या असल्या, आणि जरी त्या सर्वांमध्यें मिळून एका लालभडक पळीइतकी उष्णता असली, तरी त्यांच्या योगानें हात भाजत नाहीं. कारण त्यांच्या उष्णतेचें मान कमी असतें.

(२) रस्त्यावर पडलेलें कांहीं परिमाणाचें हिम (स्नो) वितळविण्यास आपणांस मोठ्या परिमाणाची उष्णता पाहिजे. परंतु मेणबत्ती पेटविण्यास मोठ्या तीव्रतेची किंवा उंच उष्णमानाची उष्णता लागते. हांडाभर गरम पाणी पहिल्या कृत्यास उपयोगी पडेल; आणि छोटी आगकाडी पेटविली असतां दुसऱ्या कामास उपयोगी पडेल. परंतु यांची अदलाबदल केल्यानें इच्छित कार्य घडणार नाहीं.

कांहीं वेळपर्यंत आपण उष्णतेच्या तीव्रपणाविषयीं म्हणजे **उष्णमाना**विषयींच मात्र विचार करूं.

४. समान व भिन्न उष्णमानांच्या व्याख्या—थोडासा विचार केला असतां आपणांस असें दिसून येईल कीं, दोन भिन्न भिन्न पदार्थ एकमेकांस लावून ठेविले असतां, एकांतून दुसऱ्यांत उष्णता जाईल किंवा जाणार नाहीं. त्याप्रमाणें ते **भिन्न** किंवा **समान** उष्णमानाचे आहेत, अशी आपण त्यांची व्याख्या करितों, किंवा असें ह्मणण्याचें आपण ठरवितों.

म्हणून जर एकादा लोखंडाचा तुकडा कांहीं पाण्यांत टाकिला, तर लोखंडाचें उष्णमान पाण्याइतकें होईपर्यंत एकांतील उष्णता दुसऱ्यांत जात राहील. म्हणूनच जर आपणास लोखंडाच्या तुकड्याचें उष्णमान समजलें, तर पाण्याचेंही उष्णमान समजतें; ही गोष्ट लक्ष्यांत ठेवणें फार महत्वाचें आहे, असें आपणास कळून येईल. ज्याप्रमाणें उष्णतेची तीव्रता जास्त किंवा कमी असते, त्याप्रमाणें उष्णमानास आपण **उच्च** किंवा **नीच** म्हणतों.

५. उष्णमान मापणें—उष्णमान कसें मापावें, याचा आतां आपण विचार करूं. 'पदार्थास स्पर्श करून' उष्णमान मापावें, अशी स्वाभाविकच सकृद्दर्शनीं मनांत कल्पना येईल.

परंतु एका प्रयोगावरून व रोजच्या पाहाण्यांतल्या अनेक उदाहरणांवरून ही रीति विश्वसनीय नाहीं असें आपणास समजेल.

प्रयोग—**अ ब क ड** हीं चार भांडीं एका रांगेनें मांडूं; **अ** भांड्यांत बर्फासारखें थंड पाणी घालूं: **ड** भांड्यांत फार कढत पाणी घालूं; आणि **ब** आणि **क** भांड्यांत एकच कोमट पाणी भरूं; आतां **अ** भांड्यांत एक हात आणि **ड** भांड्यांत दुसरा हात कांहीं वेळ धरून नंतर त्यांतून काढून **ब** भांड्यांत एक आणि **क** भाड्यांत एक असे बुडवा; ह्मणजे तेंच कोमट पाणी **अ** भांड्यांतून काढिलेल्या हातास **गरम** लागेल, आणि **ड** मधून काढिलेल्या हातास **थंड** लागेल. **ब** आणि **क** मधील हात यांतून त्यांत व त्यांतून यांत जलद घातले म्हणजे तर याहूनही ही गोष्ट ठळकपणें अनुभवास येईल, व चमत्कार वाटेल.

यास्तव उष्णमान मापण्यास स्पर्श हें साधन उपयोगीं पडणार नाहीं.

उष्णतेच्या परिणामांपैकीं दुसऱ्या एका परिणामावरून आपणांस उष्णमान मापिलें पाहिजे. पदार्थाचें उष्णमान जसें कमजास्त होतें, त्याप्रमाणें तो लहान मोठा होतो, हें आपण पाहतों; आणि पदार्थ समान उष्णमानावर असला म्हणजे तो नेहमी समान आकाराचा असतो.

यास्तव पदार्थांचे आकार निरनिराळ्या वेळीं कसे असतात, याची तुलना करून पदार्थांच्या उष्णमानांमधील अंतराविषयीं कांहीं स्थूल कल्पना आपणास करितां येईल.

६. उष्णमापकें—या यंत्रांच्या योगानें द्रव, वायु, इत्यादि ज्या पदार्थांमध्यें आपण त्यांस ठेवितों, त्यांचें उष्णमान मापितां येतें. म्हणून या यंत्रांनीं उष्णतेची **तीव्रता** किंवा तिचें **मान** आपणास मापितां येतें. परंतु तिचें **परिमाण** मापितां येत नाहीं. उष्णमापक हें यंत्र असें असतें कीं, उष्णमानांत फेरफार झाल्यानें जे त्याच्या आकारमानांत फेरफार होतात, ते त्यावरून आपणास सहज समजतात. हेंच याचें मुख्य

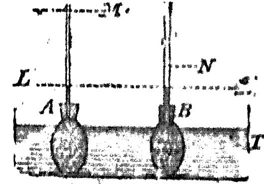
बीज असतें. कलम ४ व कलम ५ मध्यें जें आपणास समजलें आहे, त्यावरून हें उघड आहे कीं, एकादा पदार्थ (उदाहरणार्थ लोखंडाचा तुकडा) एकाद्या द्रवांत किंवा वायूंत घातला, तर त्या लोखंडाच्या तुकड्याचें उष्णमान त्याच्या आकारावरून आपणास सांगतां येईल; आणि जर त्या द्रवांत किंवा वायूंत बराच वेळ त्यास ठेविलें, तर हें उष्णमान त्या द्रवाच्या किंवा वायूच्या उष्णमानाइतकेंच असेल. यास्तव या तुकड्यास ह्या द्रवाचें किंवा वायूचें उष्णमान मापण्यास आपणास घेतां येईल.

उष्णमापकाचा नेहमीचा आकार—नुसत्या लोखंडाच्या तुकड्याचें उष्णमापक सोईचें होणार नाहीं. त्याच्या आकारमानांतील फेरफार फार सूक्ष्म असतात, व ते सहज लक्षांत येत नाहींत. त्याच्या आकारमानांत जो एकंदर फेरफार होतो, तो सर्व एकदम समजत नाहीं. उदाहरणार्थ त्याच्या लांबींत जो फेरफार होतो, तोच मात्र समजतो. ह्मणून त्याच्या आकारांतील कांहीं फेरफार हिशेबांत घेतां येत नाहीं. पाऱ्यासारखा एकादा द्रव घेऊन त्यास फुगा असलेल्या अगदीं बारीक अशा भोंकाच्या नळींत भरून त्याचा उपयोग करणें, हें अधिक सोईचें होतें. येणेंकरून नळींत बराच पारा घेतां येतो व तो प्रसरण पावला ह्मणजे अगदीं बारीक नळींतून त्यास चढावयाचें असतें. यामुळें पाऱ्याचें प्रसरण व त्याच्या आकारमानांतील वाढ एकाच दिशेस घडते, आणि नळी बारीक असल्यामुळें ती बरीच मोठी दिसते, व सहज पाहतां येते.

७. **उष्णमापकाची रचना**—उष्णमापकें करण्याची उत्तम रीति कोणती याचा आतां आपण विचार करूं.

(१) **नळी**—मोठ्या भोंकाच्या नळीपेक्षां बारीक भोंकाची नळी घ्यावी. कारण मोठ्या भोंकाच्या नळीपेक्षां बारीक भोंकाच्या नळींत पारा जास्त वर चढतो, हें खालील प्रयोगावरून सहज दिसून येईल.

प्रयोग—समान आकाराच्या चंबूंचीं केलेलीं A आणि B हीं दोन उष्णमापकें आहेत. (आ० १ पहा) यांस रबराचीं दोन बुचें बसवून A चंबूच्या बुचांत बारीक भोंकाची व B चंबूच्या बुचांत मोठ्या भोंकाची अशा नळ्या बसविल्या आहेत; आणि रंगित मद्यार्कानें दोन्ही चंबु भरून दोहोंमधील नळ्यांत सारख्या उंचीवर मद्यार्क आलेला आहे. दोहोंस एकाच उष्ण पाण्यांत बुडवावें, ह्मणजे B पेक्षां A च्या नळींत मद्यार्क जास्त उंच चढलेला दिसेल. ह्मणजे पूर्वीं जर दोहों नळ्यांत L L उंचीवर द्रव असतील, तर T या गरम पाण्याच्या भांड्यांत बुडविल्यावर A च्या नळींत द्रव M पर्यंत चढेल, व B च्या नळींत फक्त N पर्यंत चढेल.



आकृति १ ली.

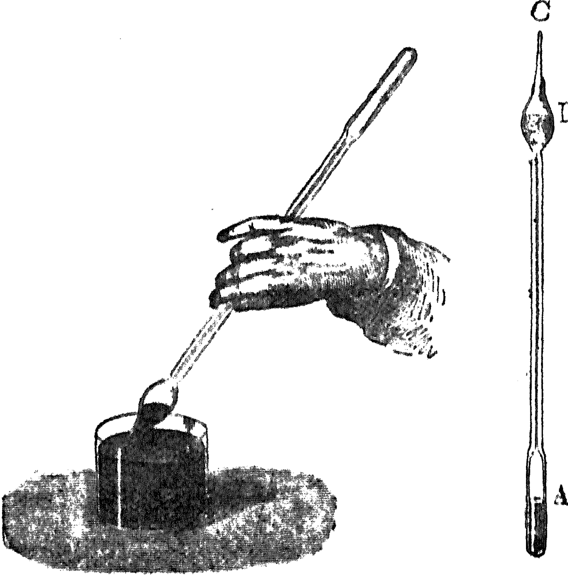
याकरितां बारीक भोंकाची नळी उष्णमापकास घेतली पाहिजे.

(२) **नळीचें छिद्र सर्वत्र समान असावें**—जर नळीचें छिद्र सर्वत्र समान नसून एका भागांत दुसऱ्या भागाच्या निमे बारीक असेल, तर पाऱ्याच्या आकारमानांत जी

केला पाहिजे. नळींत थोडासा पारा घ्यावा. असें समजू की, तो ८ इंच लांबीची जागा व्यापितो. आतां त्यास नळींतून या टोंकापासून त्या टोंकाकडे न्यावें. जर कोठें नळी रुंदट असेल, तर पारा कमी लांबीची जागा व्यापील आणि ज्या भागीं नळी अरुंद असेल, त्या भागीं पाऱ्याची लांबी जास्त होईल. म्हणून ज्या नळीच्या सर्व भागीं पाऱ्याची लांबी बहुतेक सारखी राहते, अशी नळी घ्यावी. या रीतीनें नळीच्या भोंकांत किंचित् कोठें कमजास्तपणा असला, (व तसा थोडा बहुत असतोच) तर त्याबद्दल लांबी पाहतांना आपणास कांहीं सूट देतां येते. यास नळीची 'पोकळी तपासणें' असें म्हणतात.

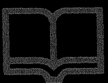
प्रयोग—या रीतीनें कोणत्याही नळीचें भोंक सर्वत्र सारखें आहे किंवा नाहीं हें पाहणें फार सोपें आहे.

(२) **फुगा करणें**—नळीचें टोंक पिनळवून व लांब ओढून प्रथम बंद करावें. नंतर तें टोंक गोल व साफ असें जाडून करावें आणि नंतर त्यास फुकनळीच्या ज्योतींत



आकृति २ री.

ऊष्ण करून सर्वत्र सारखें मऊ करावें, आणि उघड्या तोंडांतून फुंकावें. म्हणजे



नळीच्या बंद टोंकाशीं मऊ झालेल्या कांचेच्या नळींत फुंकल्यानें फुगा फुगतो. (आकृति २ पहा.) हा फुगा तयार झाल्यावर उघड्या तोंडाजवळ थोडा भाग मऊ करून व नळींत फुंकून आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें B ठिकाणीं दुसरा फुगा तयार करावा; या फुग्याचा त्याच्या खालच्या फुग्यांत पारा भरण्याकरितां मात्र उपयोग करितात, आणि नंतर त्यास काढून टाकितात.

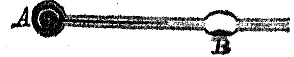
(४) **फुगा व नळी भरणें**—जर नळी फार बारीक भोंकाची असली, तर तींत पारा ओततां मुळींच येणार नाहीं. कारण सर्व नळी हवेनें भरलेली असते, आणि हवा बाहेर जाण्यास व पारा आंत शिरण्यास वाव सांपडत नाहीं.

परंतु A फुग्यास उष्ण करून नळींतील कांहीं हवेस आपणास बाहेर घालवितां येईल. याप्रमाणें करून C तोंड पाऱ्यांत बुडवून कांहीं वेळ ठेवावें. A मधील हवा थंड झाली म्हणजे पुनः आकुंचित होते. नंतर नळीसभोंवतालच्या पाऱ्यावर जो बाहेरील हवेचा दाब आहे, त्याच्या योगानें B मध्यें कांहीं पारा शिरेल. (याचें बरोबर कारण समजण्यास थोडी जास्त माहिती झाली पाहिजे, ती पुढें होईल.)

आतां नळी उलटून A फुगा खालीं करून धरावी. म्हणजे कांहीं पारा A फुग्यांत उतरतो, व कांहीं B फुग्यांत राहतो. A फुग्यास पुनः उष्ण करावें, आणि पाऱ्यास कढूंसुद्धां द्यावें. परंतु उष्ण करण्याची क्रिया जपून करावी. B फुग्याचा उपयोग कसा होतो, तें आतां आपणास समजेल. तेथील पाऱ्याचा पडद्याप्रमाणें उपयोग होतो. त्यांतून खालील हवा वर जाते. परंतु सर्व पारा A मध्यें खालीं उतरल्याशिवाय तो आपणामधून वरील हवेस खालीं जाऊं देत नाहीं. असें समजू कीं, A फुगा ⅔ पाऱ्यानें भरला आहे. आतां B फुग्यास चांगलें उष्ण करून C तोंड पाऱ्यांत बुडवावें, आणि B फुगा निम्मेहून जास्त पाऱ्यानें भरूं द्यावा.

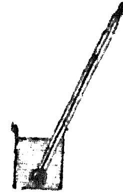
आतां आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें दोन्ही फुग्यांत पारा आहे. B मधील पाऱ्यांतून सर्व हवा जाईपर्यंत A फुग्यांतील पाऱ्यास कढवावें. (जर फुगा दोन तृतीयांशच भरला असेल तर फुगा फुटण्याचें भय नसतें. परंतु जर फुगा अगदीं किंवा बहुतेक भरला असला तर मात्र फुग्यास उष्ण केल्यानें फुटण्याचें भय असतें,) A फुगा थंड झाला म्हणजे B मधील पारा त्यांत उतरेल, आणि सर्व A फुगा आणि त्यावरील नळी पाऱ्यानें भरेल. B फुग्यास आतां काढून टाकिलें पाहिजे. B च्या खालीं नळीस वितळवून व B फुग्यासकट नळीस ओढून त्यास काढून टाकावें.

परंतु नळी अगदीं पाऱ्यानें भरली असेल तेव्हां नळीस वितळवून ओढतां येत नाहीं. म्हणून आपण नळी आडवी धरावी. A फुग्यास थोडें उष्ण करावें म्हणजे कांहीं पारा B फुग्यांत जातो. मग A फुगा थंड झाला, म्हणजे B फुग्याजवळचा नळीचा कांहीं भाग रिकामा होतो. त्या ठिकाणीं नळीस उष्ण करून बिनधोक वितळवितां येतें. (आ० ३ पहा.)



आकृति ३ री.

नंतर फुगा व नळी यांस पाण्यांत बुडवावें. मात्र वितळवून ओढलेला भाग पाण्यावर राखावा. या उष्णमापकानें जें अति उंच उष्णमान मापणें असेल, तें कांहीं विवक्षित आहे असें समजूं. याहून कांहीं जास्त उष्णमानापर्यंत ज्या पाण्यांत नळीस ठेविलें आहे, तें पाणी तापवावें. कांहीं पारा नळींतून बाहेर जाईल. पाण्याखालील दिवा काढतांच पारा बाहेर पडण्याचें बंद होईल. या वेळीं हवा आंत शिरण्याजोगा पारा मागें हटण्यापूर्वी नळीचें टोंक ज्योतींत उष्ण करून व वितळवून बंद करावें. ह्मणजे नळींत फक्त पारा राहून हवा राहणार नाहीं. (आ० ४ पहा.)



आकृति ४ थी.

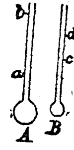
नंतर पारा शीत होऊन बराच खालीं उतरेपर्यंत वाट पाहावी; आणि पारा टोंकाखालीं उतरला म्हणजे नळीचें टोंक ज्योतींत उष्ण करून त्यास गोल आकार द्यावा.

प्रयोग—बुडाशीं व तोंडाजवळ फुगे असलेली आयती नळी मिळते. तिच्या योगानें वरील सर्व किंवा कांहीं कृति करून सहज दाखवितां येतात. उष्ण करण्यास वालुकाभट्टी घ्यावी, ह्मणजे फाजील उष्ण होण्याचें भय नसतें.

८. कांहीं नियमित उष्णमानांची जरूरी—आतां फुगा असलेल्या नळींत कांहीं पारा भरलेला असून त्याच्या आकारमानांतील फेरफार आपणास पाहतां येतील आणि कोणत्याही विवक्षित वेळीं ज्या उष्णमानावर पारा होता त्याच उष्णमानावर आहे किंवा नाहीं, हें सांगतां येईल. आतां नळीवर रेषा किंवा छेद मात्र पाडावयाचे राहिले. छेद पाडल्यावर अमक्या रेषेपर्यंत पारा चढलेला असेल, तेव्हां अमकें उष्णमान आहे, असें आपणांस समजेल. एवढें करणें बस्स होईल कीं काय तें पाहूं ?

एवढें बस होणार नाहीं हें खचित आहे; कारण अमक्या दिवशीं रात्रीं कोंकणापेक्षां देशावर जास्त थंडी होती कीं काय हें आपणास सांगतां आलें पाहिजे. याचा अर्थ असा कीं, निरनिराळ्या उष्णमापकांनीं उष्णमानें मापिलीं असल्यास त्यांची तुलना करतां आली पाहिजे. आतां इंग्लंड आणि जर्मनी या दोहों देशांमधील उष्णमापकें करणाऱ्यांनीं सारख्याच भोंकांच्या नळ्या घेतल्या असतील, त्यांचे फुगे सारख्याच आकाराचे असतील, आणि त्यांत सारख्याच परिमाणाचा पारा भरला असेल, अशी गोष्ट संभवत नाहीं. परंतु हें खरें आहे कीं, अमक्या उंचीवर पारा चढणें हें नळींत जितक्या उंचीपर्यंत पारा भरला असेल, त्यावर अवलंबून राहील; आणि अमक्या परिमाणाचा पारा चढणें हें जितका पारा प्रसरण पावण्याचा असेल, त्यावर (ह्मणजे फुग्याच्या आकारमानावर) आणि नळीचें भोंक जितकें बारीक असेल, त्यावर अवलंबून राहील. ह्मणून अमक्या उष्णमापकांत पारा फुग्यावर तीन इंचांवर होता, व दुसऱ्यांत ४ इंचांवर होता, असें ह्मणून यांपैकीं अमकें उष्णमापक जास्त उष्ण होतें, असें सांगतां येणार नाहीं. आणि तसेंच अमकें उष्णमापक $\frac{1}{2}$ इंच चढलें, परंतु दुसरें $\frac{1}{4}$ इंच चढलें असें सांगून कोणाचें उष्णमान वाढलें हें समजणार नाहीं.

कसल्याही नळीचीं उष्णमापकें केलेलीं असलीं, तरी प्रत्येक उष्णमापक घेऊन त्यांत कांहीं नियमित व ठरींव अशा उष्णमानावर पारा किती उंचीवर स्थिर राहतो हें काढून त्या ठिकाणीं खूण केली पाहिजे. नंतर त्याहून उंच अशा दुसऱ्या एका नियमित व ठरींव उष्णमानावर पारा कोठपर्यंत चढतो, तें पाहून त्या ठिकाणींही खूण केली पाहिजे. या दोहों खुणांमधील अंतर A आणि B या दोन उष्णमापकांत अगदीं भिन्न असेल. A उष्णमापकांत तें (ab) ह्मणजे १२ इंच असेल; आणि B उष्णमापकांत (cd) ह्मणजे ३ इंच असेल. परंतु तें a पासून b पर्यंत आणि c पासून d पर्यंत हीं दोन्ही समान उष्णमानांमधील अंतरें आहेत: आणि जेव्हां त्या दोहोंत पारा a आणि b पर्यंत किंवा c आणि d पर्यंत अनुक्रमें स्थिर राहतो, तेव्हां A आणि B हीं दोन्ही उष्णमापकें समान उष्णमानें दर्शवितात. याचप्रमाणें जर दोहोंमध्यें या दोहों बिंदूंमधील अंतराच्या निम्मे अंतरावर किंवा चतुर्थांश अंतरावर पारा स्थिर राहिला, तरीही दोन्ही उष्णमापकें एकाच उष्णमानावर आहेत असें म्हणतां येईल. (आ० ५ पहा.)



आकृति ९वी.

याकरितां प्रत्येक उष्णमापकावर दोन नियमित उष्णमानांच्या (किंवा उष्णतेच्या अंशांच्या) खुणा आपणास केल्या पाहिजेत. यांस ठरींव बिंदु असें ह्मणतात. परंतु हें पक्कें समजलें पाहिजे कीं, हीं उष्णमानें जरी ठरींव असतात, तरी निरनिराळ्या भोंकांच्या व निरनिराळ्या आकारमानांच्या फुग्यांच्या नळ्या घेऊन उष्णमापकें केलीं असलीं, तर या दोन बिंदूंचीं स्थानें व त्यांमधील अंतरें, भिन्न भिन्न असतील.

प्रयोग—निरनिराळ्या आकाराचे चंबू घेऊन व त्यांत सारख्याच भोंकाच्या नळ्या घालून केलेल्या उष्णमापकांनीं वरील गोष्ट दाखवितां येतें.

९. **ठरींव बिंदु काढणें**—निरनिराळ्या देशांतील उष्णमापकें करणारांस सहज रीतीनें जीं उष्णमानें घेतां येतील, अशीं दोन नियमित उष्णमानें आपणास प्रथमतः ठरविलीं पाहिजेत.

असें एक ठरींव उष्णमान बर्फाचा वितळण्याचा बिंदु आहे.

दुसरें असें उष्णमान कांहीं विशेष अवस्थेंत ज्या उष्णमानावर पाणी कढतें तें होय.

उष्णमापकावर 'थिजण्याचा बिंदु' व 'कढण्याचा बिंदु' असें जें घातलेलें आपण पाहतों, तीं आपलीं दोन ठरींव उष्णमानें आहेत. या दोन बिंदूंच्या खुणा प्रत्येक उष्णमापकावर केल्या, आणि त्यांमधील अंतराचे लहान विभाग एकदां पाडिले म्हणजे आपणास निरनिराळ्या दोन उष्णमानांची तुलना करितां येईल; मग तीं उष्णमापकें अगदीं भिन्न भिन्न रीतीनें केलेलीं असलीं तरी अडचण पडणार नाहीं.

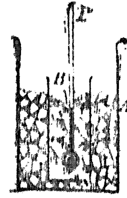
१०. **थिजण्याचा बिंदु काढणें**—याचा अर्थ म्हटला म्हणजे जें पाणी शांत किंवा स्थिर ठेविलेलें नाहीं, असें पाणी कोणत्या उष्णमानावर प्रथमतः थिजूं लागतें, तें उष्णमान काढणें होय. बर्फ कोणत्या उष्णमानावर प्रथमतः वितळूं लागतें, तें उष्णमान

पुरा करून त्यास वितळूं दिलें पाहिजे.

म्हणून जें बर्फ नुकतें वितळूं लागलें आहे, अशा बर्फाच्या चुऱ्यांत उष्णमापक ठेवून बर्फ वितळून झालेल्या पाण्यास त्यांतून वाहूं दिलें पाहिजे. नाहीं तर तें पाणी बर्फाच्या वितळण्याच्या बिंदूहून किंचित् जास्त उष्णमानावर कदाचित् येईल. बर्फाच्या चुऱ्यामधील उष्णमापकांतील पारा ज्या बिंदूपर्यंत उतरेल, त्या बिंदुस **थिजण्याचा बिंदु** असें नांव द्यावें. कढण्याच्या बिंदूच्या पूर्वी थिजण्याचा बिंदु काढिला पाहिजे. कारण जर कढण्याचा बिंदु प्रथम काढिला, तर कांच फार प्रसरण पावलेली असते, आणि ती थिजण्याच्या उष्णमानावर आकुंचन पावून कांहीं वेळपर्यंत आपला मूळ आकार धारण करीत नाहीं. म्हणून थिजण्याचा बिंदु काढून उष्णमापकावर खुणा केल्यानंतर कांच आणखी आकुंचन पावत जाते, आणि थिजण्याच्या बिंदूवर पारा चढतो. यामुळें कांहीं दिवसानंतर जर थिजण्याचा बिंदु पुनः काढिला, तर पहिल्या खुणेच्या वर थिजण्याचा बिंदु चढला आहे, असें आढळतें.

याच कारणाकरितां फुगा फुगविल्यावर कांहीं दिवसपर्यंत उष्णमापकाची नळी तशीच राहूं दिली पाहिजे.

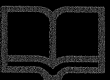
प्रयोग १.—थिजण्याच्या बिंदूहून कमी उष्णमानावर बर्फ असूं शकतें असें दाखवितां येतें. T हें उष्णमापक B भांड्यांतील बर्फाच्या चुऱ्यांत ठेविलें आहे. (आ० ६ पहा.) (या प्रयोगास स्वस्त मिळणारें उष्णमापक घ्यावें हें बरें.) हें B भांडें त्याहून मोठ्या अशा A भांड्यांत ठेविलें आहे, व त्यांत बर्फ आणि मीठ यांनीं मिश्रण घातलेलें आहे. कांहीं काळानें असें आढळतें कीं, थिजण्याच्या बिंदूच्या खुणेखालीं उष्णमापकांतील पारा उतरतो.



आकृति ६ वी.

प्रयोग २--आतां ज्यावर खूण केलेली नाहीं, असें उष्णमापक घेऊन वर सांगितल्या रीतीनें वितळणाऱ्या बर्फांत बुडवून थिजण्याच्या बिंदूची खूण करावी.

११. **कढण्याचा बिंदु काढणें**—वरच्या बिंदूस **कढण्याचा बिंदु** असें मोघम नांव आपण दिलें आहे. परंतु हा बिंदु कोणता हें बरोबर समजण्यास त्याविषयीं थोडें जास्त लिहिलें पाहिजे. हें आपणास माहीत आहे कीं, पाणी मृदु (हलकें) किंवा कठीण (जड) असतें; तसेंच गोड किंवा खारें असतें. कोणतेंही पाणी घेतलें तरी तें सारख्याच उष्णमानावर कढतें, कीं काय तें पाहिलें पाहिजे.



ज्या उष्णमापकावर कढण्याच्या बिंदूची खूण करावयाची आहे, तसलें उष्णमापक घेऊन त्यास साधारण कढत्या पाण्यांत बुडवून त्यावर कढण्याच्या बिंदूची खूण करावी.

नंतर ज्या पाण्यांत क्याल्सिअम क्लोराइड हा क्षार विद्रुत केला आहे, असें पाणी कढवून त्यांत उष्णमापक बुडवावें व कढण्याचा बिंदु काढावा. दोन्ही फार भिन्न असतात असें आपणांस दिसून येईल.

टीप—ज्यावर अंश मांडलेले आहेत अशा उष्णमापकाच्या सहाय्यानें पाण्याचें कढण्याचें उष्णमान १३०° श होई इतका क्याल्सिअम क्लोराइड हा क्षार पाण्यांत प्रथम विरघळवितां येईल.

याकरितां भिन्न भिन्न जातीचें पाणी घेतलें तर कढण्याचे बिंदु भिन्न भिन्न येतील.

आणखी आपणास असें दाखवितां येईल कीं, पाणी खरबरीत भांड्यांत आणि साफ गुळगुळीत भांड्यांत कढविलें, तरी कढण्याच्या उष्णमानांत अंतर पडतें.

या सर्व अडचणी टाळण्याकरितां उष्णमापकास पाण्यांत न बुडवितां वाफेंत बुडविलें ह्मणजे आपलें कार्य होतें; परंतु ही वाफ गरम ठेविली पाहिजे. या वाफेच्या सभोंवार दुसरा वाफेचा थर ठेवून हें काम करितां येतें. ह्मणजे आंतील वाफ थंड होऊं नये, ह्मणून तिच्या सभोंवार आणखी एक वाफेचा थर ठेवितात. (आकृति ७ पहा.)

असें केल्यानें कोणत्याही प्रकारचें पाणी घेतलें, आणि कोणत्याहि प्रकारचें भांडें घेतलें, तरी आतां त्यापासून अडचण येणार नाहीं.

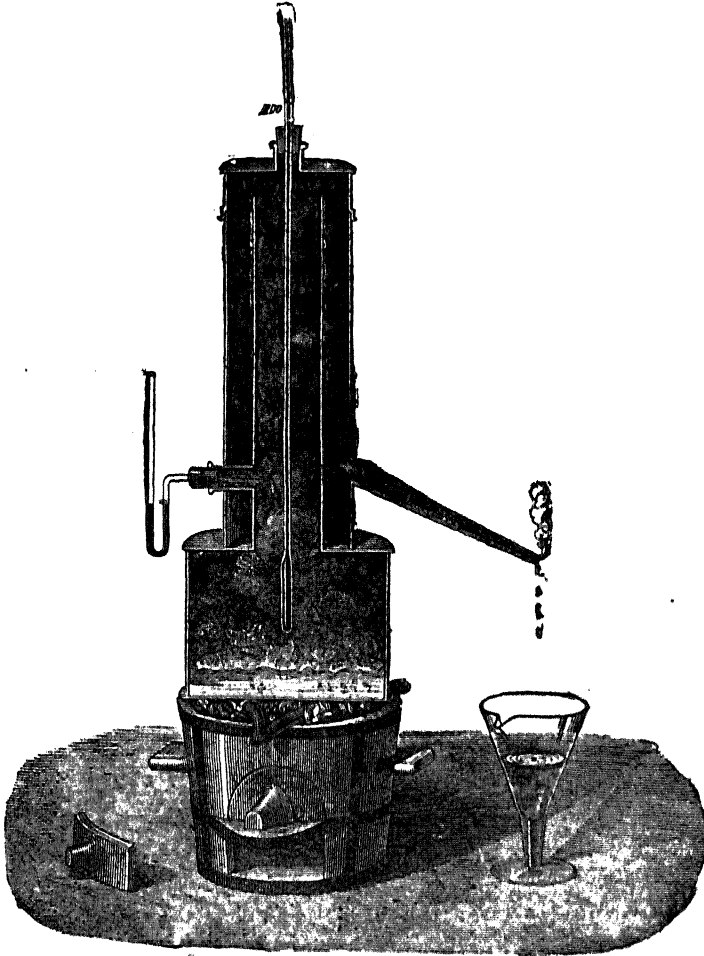
एवढ्यानें तरी आपला दुसरा ठरीव बिंदु ठामपणें मिळेल काय?

उदाहरणार्थ एक मनुष्य हिमालय पर्वताच्या शिखरावर असला व दुसरा मुंबई येथें असला, आणि त्या दोघांनीं वरील रीतीनें कढण्याचे बिंदु काढिले, तर ते सारखेच असतील कीं काय?

याचें पूर्ण उत्तर पुढें देतां येईल. येथें खालीं लिहिलेल्या कांहीं गोष्टी मात्र सांगतों.—ज्या वातावरणांत आपण चलनवलन करितों, व जें कित्येक मैलपर्यंत उंच आपणावर आहे, त्या वातावरणाचें किंवा हवेच्या समुद्राचें वजन प्रत्येक वस्तूवर दाबीत आहे. या दाबानें कढण्याच्या उष्णमानांत फार फरक पडतो. हा दाब ज्याप्रमाणें जास्त असेल, त्याप्रमाणें पाणी कढविण्यास जास्त उष्णामान लागतें, व वाफेचें उष्णमानही जास्त असतें. तसेंच जर दाब कमी असला, तर कढत्या पाण्याचें उष्णमान कमी असतें, व वाफेचेंही कमी असतें.

आतां भारमापक या नांवाचें एक यंत्र आहे, त्यानें हा दाब मापितां येतो. येथें आम्ही एवढेंच सांगतों कीं, कढण्याचा बिंदु काढते वेळीं हा दाब किती आहे, हें पाहून तो हिशेबांत घेतला पाहिजे. असें केल्यानें जेथें दाब भिन्न भिन्न असतात, अशा अनेक ठिकाणीं केलेल्या उष्णमापकांवरही कढण्याच्या बिंदूचीं उष्णमानें सारखींच व कायम असूं शकतील.

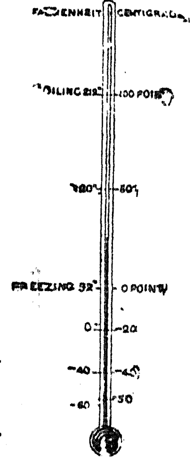
प्रयोग—पुढें कढणें या सदराखालीं सकारण दिलेला प्रयोग येथें करून पाहावा, ह्मणजे पाणी कमी उष्ण असतांही कांहीं विशेष अवस्थेंत तें कढतें हें दिसून येईल.



आकृति ७ वी.

१२. उष्णमापकावर अंश मांडणें.—उष्णमापकावर दोन नियमित उष्णमानांच्या खुणा केल्या, ह्मणजे त्या दोन उष्णमानांमधील किंवा खुणांमधील अंतर किंवा लांबी किती आहे, तें दाखविलें. परंतु एवढें बस होत नाहीं. गजावर किंवा

फितीवर वाराच्या किंवा यार्डाच्या खुणा केल्यासारखें हें झालें. ज्याप्रमाणें यार्डाचे किंवा वाराचे फुटांमध्यें व इंचांमध्यें विभाग करून आरंभीं केलेल्या खुणांच्या दोहोंकडे फुटांच्या व इंचांच्या खुणा आपणास कराव्या लागतात, त्याचप्रमाणें थिजण्याच्या बिंदूपासून कढण्याच्या बिंदूपर्यंत जें अंतर आहे, त्याचे लहान लहान विभाग करून त्यांच्या खुणा आपल्या उष्णमापकावर केल्या पाहिजेत; आणि तसल्याच खुणा थिजण्याच्या बिंदूच्या खालीं आणि कढण्याच्या बिंदूच्या वरही करीत गेलें पाहिजे.



आकृति ८ वी.

आतां असा प्रश्न निघाला कीं, या अंतराचे आपण किती भाग पाडावे, आणि कोठें शून्य घालून विभाग मांडण्यास आरंभ करावा?

या अंतराचे विभाग करण्याच्या ह्मणजे उष्णमापकावर अंश मांडण्याच्या हल्लीं दोन मुख्य रीति आहेत.

(१) **फारेनहीटचे अंश—फारेनहीट या गृहस्थानें** अत्यंत नीच असें उष्णमान मिळवून त्यास ० हें नांव देण्याचा यत्न केला. बर्फ आणि मीठ यांच्या मिश्रणांत उष्णतामापक घालून अतिनीच अंश ज्या बिंदूपर्यंत उष्णमान उतरलें त्या बिंदूस त्यानें ० हें नांव दिलें, व तेथपासून अंश मांडण्यास त्यानें आरंभ केला. थिजण्याच्या बिंदूस त्यानें ३२° हें नांव दिलें, आणि कढण्याच्या बिंदूस २१२° हें नांव दिलें; म्हणजे थिजण्याचा बिंदु व कढण्याचा बिंदु यांमधील अंतराचे त्यानें १८० अंश किंवा विभाग केले.

परंतु पुढें लवकरच असें दिसून आलें कीं, याच्या ०° हून कमी अशीं नीच उष्णमानें आढळतात. म्हणून याच्या ० खालीं —१°,—२°,—३°, इत्यादि उष्णमानें मांडूं लागले.

या उष्णमापकाचें उष्णमान २१२° फा. असें लिहितात.

(२) **शतभाग उष्णमापकाचे अंश**—या उष्णमापकांत खरें ०° उष्णमान मिळविण्याचा यत्न न करितां थिजण्याच्या बिंदूस ०° आणि कढण्याच्या बिंदूस १००° अशीं नांवें दिलीं; आणि ०° खालच्या उष्णमानांस—१°,—२° ह्मणूं लागले.

हें उष्णमापक जास्त सोईचें आहे, याचे अंश फारेनहीटच्या अंशाहून मोठे आहेत, हें आपणास लक्षांत ठेविलें पाहिजे. या उष्णमापकाचें उष्णमान १००° श. असें लिहितात.

(३) **रिआमरचें** एक तिसरें उष्णमापक आहे. त्यांत थिजण्याचा बिंदु ०° आणि कढण्याचा बिंदु ८०° असे असतात.

सोबतच्या आकृतींत एकाच उष्णमापकावर फा आणि श या अंशांत कांहीं उष्णमानें मांडून दाखविलीं आहेत. अशा तऱ्हेची आकृति काढून तींत खालीं सांगितलेल्या

नियमांनीं सारखीं उष्णमानें दर्शविणारे अंश काढून मांडावे म्हणजे दोहीं अंशांनीं कल्पना येण्यास चांगलें सहाय्य होईल.

१३. फारेनहीटचे अंश शतभाग अंशांत नेणें, आणि शतभाग अंशाचे फारेनहीटचे अंश काढणें—या निरनिराळ्या रीतींनीं ज्यांवर अंश मांडले आहेत, अशा उष्णमापकांचा जे लोक उपयोग करीत असतील, त्यांस त्यांवरील उष्णमानांची तुलना करितां आली पाहिजे. म्हणजे एका पद्धतीचे अंश दिले असल्यास त्या अंशास दुसऱ्या पद्धतीच्या अंशांत नेतां आलें पाहिजे.

शतभाग अंशाची फारेनहीटच्या अंशाशीं तुलना करितांना दोन गोष्टी आपणास लक्षांत ठेविल्या पाहिजेत. (१) फारेनहीटचे अंश लहान असतात म्हणून त्यांची संख्या जास्त असते. (२) या उष्णमापकांत थिजण्याचा बिंदु ३२° आहे; म्हणून शतभाग उष्णमापकाप्रमाणें फारेनहीटच्या उष्णमापकांत थिजण्याचा बिंदु ०° असता तर फारेनहीटचे अंश जितके असते त्याहून सर्व उष्णमानें ३२° नीं जास्त असतात. थिजण्याचा बिंदु व कढण्याचा बिंदु यांमधील अंतराचे फारेनहीटच्या उष्णमापकांत १८० विभाग केलेले असतात, आणि शतभाग उष्णमापकांत याच अंतरांत १०० विभाग असतात. ज्यापेक्षां $\frac{१८०}{१००}=\frac{९}{५}$ आहेत, त्यापेक्षां फारेनहीटचे अंश शतभाग अंशाच्या $\frac{५}{९}$ पट असतात. किंवा शतभाग उष्णमापकाचा एक अंश फारेनहीटच्या एक अंशाच्या $\frac{९}{५}$ पट मोठा असतो.

(१) **श. अंशाचे फा. अंश करणें**—श. अंशाचे फा. अंश करणें झाल्यास त्यास $\frac{९}{५}$ नीं गुणून त्यांत ३२ मिळविले पाहिजेत हें उघड आहे.

उदाहरणें.

"५०°, ०°, -८° श. यांचे फा. अंश कर."

(१) $\times ५० \frac{९}{५} = ९०$ आणि $९० + ३२ = १२२$ फा.

(२) $० \times \frac{९}{५} = ०$, आणि $० + ३२ = ३२^\circ$ फा.

(३) $(-८) \times \frac{९}{५} = -\frac{७२}{५} = -१४\frac{२}{५}$; आणि $-१४\frac{२}{५} + ३२ = १७\frac{३}{५}$ $\therefore$ -८° श. $= १७\frac{३}{५}$ फा.

(२) **फा. अंशाचे श. अंश करणें**—आपणास माहीत आहे कीं, शतभाग अंशास थिजण्याच्या बिंदूपासून आरंभ होतो. आणि फारेनटही अंशास त्याच्या खालीं ३२° पासून आरंभ होतो.

म्हणून फा. अंशांतून प्रथमतः ३२ वजा करून फारेनहीटनें उष्णमान थिजण्याच्या बिंदूपासून मापिलें असतां किती अंश होईल हें काढिलें पाहिजे; आणि नंतर त्यास $\frac{५}{९}$ नीं गुणिलें पाहिजे. कारण शतभाग अंश मोठे असतात, म्हणून त्यांची संख्या कमी असते.

उदाहरणें.

"१३०°, ३२°, १८°, —६° फा. यांचे श. अंश कर."

(१) $१३० - ३२ = ९८$; आणि $९८ \times \frac{५}{९} = \frac{४९०}{९} = ५४\frac{४}{९}$;

$\therefore$ १३०° फा = ५४° $\frac{४}{९}$ श.

(२) ३२—३२=०; आणि ० × $\frac{५}{९}$ = ०

$\therefore$ ३२° फा = ०° श.

(३) १८—३२ = —१४; आणि —१४ × $\frac{५}{९}$ = —$\frac{७०}{९}$ = —७$\frac{७}{९}$ $\therefore$ १८° फा = —७° $\frac{७}{९}$ श.

(४) —६—३२ = —३८; आणि (—३८) × $\frac{५}{९}$ = —$\frac{१९०}{९}$ = —२१$\frac{१}{९}$ $\therefore$ —६° फा = —२१° $\frac{१}{९}$ श.

ज्या उष्णमापकावर दोन्ही पद्धतीचे अंश मांडिलेले आहेत, असें उष्णमापक घेऊन वरील उत्तरें बरोबर आहेत किंवा नाहींत हें पाहावें.

१४. **एका पद्धतीचे अंश दुसऱ्या पद्धतीच्या अंशांत नेण्याच्या सारण्या**-वरील नियमांचा खालील सारण्यांत फार थोडक्यांत समावेश होतो:—

फा. = $\frac{९}{५}$ श. + ३२; श. = $\frac{५}{९}$ (फा—३२) या सारण्या पाठकरून वरील लांबलचक नियमाच्या जागीं यांचा उपयोग करावा.

रीआमरचे अंश—या उष्णमापकांत थिजण्याचा बिंदु ० असतो. व कढण्याचा बिंदु ८० असतो. आणि $\frac{१००}{८०}$ = $\frac{५}{४}$; म्हणून खालील सारण्या निघतात. श. = $\frac{५}{४}$ र.; र. = $\frac{४}{५}$ श.; फा. = $\frac{९}{४}$ र. + ३२; र. = $\frac{४}{९}$ (फा. — ३२;).

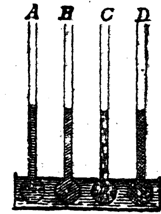
अनेक प्रकारचीं उष्णमापकें.

१५. **शीघ्रग्राही उष्णमापकें**—उष्णमापक शीघ्रग्राही होण्यास म्हणजे उष्णमानांत थोडा फेरफार झाला असतां द्रवाचें फार प्रसरण दिसण्यास कोणत्या गोष्टीची अवश्यकता लागते, याचा आतां आपण विचार करूं.

अशा प्रकारच्या उष्णमापकास खालीं दिलेल्या गोष्टी अवश्य लागतात, असें आपणास सहज दिसून येईल.

(१) **जो पदार्थ फार प्रसरण पावतो असा पदार्थ उष्णमापकाकरितां पाहिजे**—याचें कारण सांगण्याची फारशी जरूरी नाहीं.

प्रयोग—सारख्या फुग्यांच्या, सारख्या भोकांच्या व सारख्या लांबीच्या A, B, C, D, या चार नळ्या पारा, तेल, पाणी आणि रंगिवलेला मद्यार्क या चार द्रवांनीं सारख्या उंचीपर्यंत अनुक्रमें भरून एका कथलाच्या परळांत ठेविलेल्या आहेत. या वेळीं या सर्वांचें उष्णमान सारखें म्हणजे हवेच्या उष्णमानाइतकें आहे. या नळ्यांत भेद कायतो द्रवांचा आहे. आतां यांचें सारखें उष्णमान चढविल्यानें त्यांवर कसे परिणाम होतात तें पाहूं. उष्णमान वाढविण्याकरितां फुगे बुडण्याजोगें परळांत कढत पाणी ओतूं. दोन मुख्य गोष्टी आपल्या नजरेस पडतील. (१) पारा प्रथम चढतो, आणि त्याची चढण्याची परमावधी झाली म्हणजे पुनः फार जलद उतरूं लागतो. (२) आणि मद्यार्क सर्व द्रवांत अत्यंत चढतो.



आकृति ९ वी.

वास्तव मद्यार्क अत्यंत प्रसरण पावतो; म्हणून वारही द्रवांत शीघ्रग्राही उष्णमापक करण्यास मद्यार्क हाच फार योग्य पदार्थ आहे, असें आपणास समजतें.

टीप—नळ्या सारख्या उंचीपर्यंत भरण्यास कांहीं आयास लागतात. म्हणून सुरुवातीची व अखेरची उंची पाहून त्यांमधील अंतर काढिलें असतां बस आहे.

(२) नळीचें फार बारीक भोंक असणें अधिक चांगलें आहे —याचें कारण कलम ८ यांत जें सांगितलें आहे, त्यावरून उघड आहे; व तेथें सांगितल्याप्रमाणें दाखवितांही येईल.

(३) फुगा मोठा असणें हेंही चांगलें आहे.

प्रयोग—सारख्या भोंकाच्या नळ्या भिन्न भिन्न आकाराच्या घेऊन वसवून क० ८ यांत सांगितल्याप्रमाणें हें सहज दाखवितां येईल.

१६. **सूक्ष्म उष्णमापकें**—ज्यांचें कार्य त्वरित घडतें अशा उष्णमापकांची आपणास कधीं कधीं गरज लागते; म्हणजे ज्यावर बाह्य उष्णमानाचे फेरफार चालू न देऊन त्याचें उष्णमान वाढविण्यास अगदीं थोडी उष्णता खर्च व्हावी, आणि या रीतीनें ज्याचें उष्णमान आपणास मापणें आहे, त्यास उष्णमापकानें फार थंड करूं नये; तथापि उष्णमानांतील सूक्ष्म फेरफार यावरून कळावे, अशीं उष्णमापकें लागतात.

अशा उष्णमापकास बारीक भोंकाची व लहान फुग्याची नळी पाहिजे; आणि तसेंच जो पदार्थ फार प्रसरण पावतो, परंतु ज्यास उष्ण करण्यास फार उष्णता लागत नाहीं, असा पदार्थ पाहिजे. [पुढें आपणास समजेल कीं, या शेवटल्या धर्मास त्याची विशिष्ट उष्णता कमी असणें असें म्हणतात.]

प्रयोग—शीघ्रग्राहकत्वाकरितां मोठ्या फुग्याचें केलेलें शीघ्रग्राही उष्णमापक आणि सूक्ष्मतेकरितां केलेलें सूक्ष्म उष्णमापक या दोहोंचा लहानशा भांड्यांतील पाण्याचें उष्णमान मापण्यास उपयोग करून दोहोंची सहज तुलना करून दाखवितां येते.

१७. **महत्तम उष्णमापक**—उन्हांत किंवा सावलींत किंवा दोहोंमध्यें महत्तम उष्णमान केव्हां असतें, हें वायुचक्रशास्त्राचे वेध घेण्याकरितां सर्व ठिकाणीं पाहावें लागतें.

सर्व दिवसभर उष्णमापकाकडे पाहात राहून अति उंच उष्णमान केव्हां होतें हें पाहणें अशक्य होणार आहे, हें उघड आहे.

याकरितां कोणत्या तरी रीतीनें आपणास असें एक उष्णमापक केलें पाहिजे कीं, त्यानें अति उंच उष्णमान काय होतें हें आपोआप समजावें.

असें करण्याचा अगदीं सोपा उपाय म्हटला म्हणजे द्रव प्रसरण पावत असतां त्यानें कोणत्या तरी पदार्थास पुढें सारावें आणि आकुंचित होऊन मागें येत असतां त्या पदार्थानें त्या बरोबर मागें येऊं नये.

अशा उष्णमापकास पारा हाच उत्तम द्रव आहे. कारण पारा नळींतून पुढें सरत असतो, तेव्हां नेहमीं त्याच्या स्तंभाचें शिखर गोल असतें; व त्या गोल शिखरास सपाट करण्यास यत्न केला तर तें सपाट होत नाहीं. म्हणून हलक्या अशा एकाद्या दर्शकास (उदाहरणार्थ तारेच्या तुकड्यास) आडव्या ठेविलेल्या नळींत पारा सहज पुढें सारील.

हा दर्शक अशा पदार्थांचा असला पाहिजे कीं त्या पदार्थांस पारा चिकटूं नये. म्हणजे पाऱ्यानें तो भिजूं नये व त्यानें पाऱ्यास शोषण करूं नये.

पाऱ्याचा कढण्याचा बिंदु फार उंच असल्यामुळें फार मोठीं उष्णमानें मापण्यास मद्यार्कापेक्षां फारच उपयोगी आहे. म्हणून महत्तम उष्णमापकास पाऱ्याची मातबरी यामुळें विशेष आहे.

प्रयोग—ज्या नळींत शिवण्याची पोलादी सुई घालितां येईल, अशा मोठ्या भोकाच्या नळीचें महत्तम उष्णमापक सहज रीतीनें करितां येईल. पुष्कळ पाऱ्याचें चलन व्हावें म्हणून फुगा मोठा असला पाहिजे. कारण येणेंकरून यंत्र व त्यांतील चलन कांहीं अंतरावरूनही स्पष्ट दिसतील.

आकृति १० वी.

दुसऱ्या प्रकारचीं महत्तम उष्णमापकें—फिलिप यांच्या महत्तम उष्णमापकांत पुढें सरणारा पदार्थ थोडा पाराच असतो; परंतु तो मुख्य पाऱ्याच्या स्तंभापासून थोड्या हवेनें अलग केलेला असतो.

निग्रेटी आणि झांब्रा यांच्या महत्तम उष्णमापकांत अगदीं फुग्यावरच नळी फार आकुंचित व बारीक असते. ह्मणून पारा प्रसरण पावला म्हणजे त्यांतून पारा जोरानें पुढें जातो; परंतु थंड होतांना आकुंचित भागीं फुग्यांतील पाऱ्याच्या भागीं आकुंचित भागाच्या पलीकडे असलेल्या पाऱ्यास मागें ओढण्याजोगें बलवत्तर आकर्षण नसतें; म्हणून तो पारा पुढें राहतो. महत्तम उष्णमान पाहण्याकरितां जेव्हां आपण त्या उष्णमापकाकडे जातों, तेव्हां नळी वांकडीकरून वेगळ्या झालेल्या पाऱ्यास आकुंचित भागाकडे येऊं देतो म्हणजे उष्णमान कमी होऊन पारा मागें पुनः जाऊं लागला व पारदस्तंभाचे विभाग झाले तेव्हां जेथें पारा पोंचला होता, तेथें पाऱ्याच्या स्तंभाचा माथा येतो; व महत्तम उष्णमान समजतें. हें उष्णमापक लावतांना नळी खालच्या बाजूस थोडी कलती करून ठेवितात. याकरितां वरीलप्रमाणें नळी वर करून पारा मागें सारणें अवश्यक असतें.

वरील वर्णनावरून साधारण स्थितींत व ज्या वेळीं महत्तम उष्णमान पहावयाचें त्या स्थितींत त्या उष्णमापकाचें वाचकांनीं चित्र काढावें, आणि महत्तम उष्णमान पाहण्याविषयीं जी रीति वर सांगितली, तिच्या खरेपणाविषयीं आपलें समाधान करून घ्यावें.

प्रयोग—या दोन्ही प्रकारचीं उष्णमापकें सहज मिळवून दाखवितां येतील.

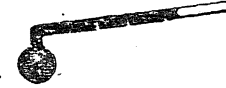
१८. लघुतम उष्णमापकें—लघुतम उष्णमापकें ज्या प्रकारचीं असतात, त्यांपैकीं एकाविषयीं मात्र आपण विचार करूं. या ठिकाणीं आपणास असा द्रव पाहिजे कीं (१) त्यानें दर्शकास मागें ओढिलें पाहिजे व ज्या अगदीं नीच स्थानीं तो येईल, तेथें त्यास सोडिलें पाहिजे; (२) द्रव इतका पारदर्शक असला पाहिजे कीं, दर्शक त्यांतून स्पष्ट दिसावा; आणि (३) द्रव सहजीं थिजूं नये.

आणखी ज्या द्रवाचें प्रसरण फार होतें, असा द्रव असला पाहिजे. ही गोष्ट सर्व उष्णमापकांस लागू असते. आल्कोहोल नळींत असला ह्मणजे त्याच्या स्तंभाचा

माथा खोलगट असतो; तो पारदर्शक आहे, त्याचा थिजण्याचा बिंदु, फार नीच आहे व तो फार प्रसरण पावतो. या सर्व धर्मांमुळें या कामास आल्कोहोल फार योग्य आहे.

प्रयोग—पाऱ्यांच्या महत्तम उष्णमापकाप्रमाणेंच आल्कोहोलाचें लघुतम उष्णमापक करणें फार सोपें आहे. दोहों टोंकांकडे गोळ्या असलेली अशी अपारदर्शक कांचेची बारीक कांडी घेऊन ती दर्शकाकरितां नळींत घालावी. म्हणजे तिचें कार्य कांहीं अंतरावरूनही दिसण्यास हरकत पडणार नाहीं.

सोबतच्या आकृतीवरून असें दिसेल कीं, उष्णमापकाची नळी किंचित् वरच्या बाजूस कलती आहे. यामुळें मद्यार्क पुनः प्रसरण पावतो, तेव्हां कांचेचा दर्शक सहज मागें राहतो.



आकृति ११ वी.

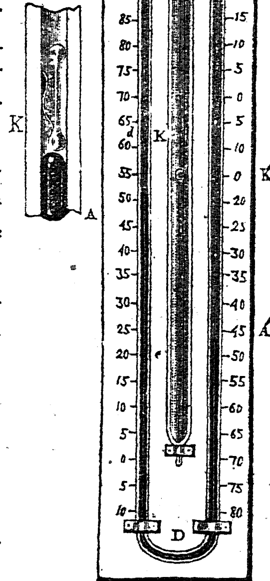
१९. सिक्स याचें महत्तम व लघुतम उष्णमापक—ह्या उष्णमापकांत अशी हिकमत योजिलेली असते कीं, कोणत्याही काळांत लघुतम व महत्तम उष्णमानें काय होतीं, तीं दोन्ही या एका उष्णमापकानें आपोआप समजतात.

या उष्णमापकाचा C हा लांबोडा फुगा मद्यार्कानें भरला आहे. हाच द्रव उष्णमान वाढलें किंवा कमी झालें तर प्रसरण किंवा आकुंचन पावतो.

A D A′ हा पाऱ्यांचा स्तंभ असून मद्यार्कांबरोबर पुढें मागें सरतो. म्हणून या स्तंभाचें A किंवा A′ शेवट आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें योग्य रीतीनें अंश मांडिले असले म्हणजे उष्णमान दर्शवील.

K व K′ हे दर्शक आहेत. हे कांचेचे असून प्रत्येकांत पोलादाचा लहान तुकडा आहे; आणि प्रत्येकास लहानशी कमान आहे; व तिच्या योगानें ते आपोआप नळींतून खालीं उतरत नाहींत. परंतु पुढें सरणाऱ्या पाऱ्याच्या A किंवा A′ या टोंकांनीं त्यांस ढकललें म्हणजे खालवर सरण्यास कमानीचा प्रतिबंध होत नाहीं.

पारा आणि B फुगा यांमध्यें जो थोडा मद्यार्क आहे, आणि B फुग्यांत मद्यार्कावरील रिकाम्या जागीं जी मद्यार्कांची वाफ आहे तिचा दाब या दोहोंच्यां योगानें तेथचा मद्यार्क शीत होऊन आकुंचित झाला. म्हणजे C कडे पारा मागें हटतो. उष्णमापकाचें कार्य कसें घडतें हें उघड आहे. K दर्शकानें महत्तम उष्णमान समजतें. K′ दर्शकानें लघुतम

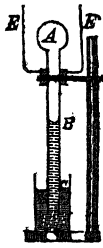


आकृति १२ वी.

उष्णमान समजतें. उष्णमापक लावण्याच्या वेळीं चुंबकानें दर्शकास पाऱ्याच्या स्तंभा-च्या टोंकावर आणावें लागतें.

२०. **हवेचें उष्णमापक**—योग्य सावधगिरी घेतली असतां उष्णमापक करण्यास हवा हा उत्तम पदार्थ आहे; कारण हवा उष्णतेनें त्वरित व पुष्कळ प्रसरण पावते; आणि तिच्या योगानें हवीं तेवढीं उष्णमानें मापितां येतात. "जेव्हां वायूचा आकार समान असून उष्णमान बदलतें, तेव्हां त्याचा दाब कसा असतो" याविषयीं विचार करितेवेळीं पुढें प्रकरण ५ यांत हवेच्या सूक्ष्म उष्णमापकाविषयीं विशेष विचार केला जाईल. येथें फक्त स्थूल आकाराच्या उष्णमापकाचा विचार करूं. (ह्या आकाराचें उष्णमापक सहज करितां येतें, व पाऱ्याच्या उष्णमापकावरून कोणत्याही दिवशीं त्यावर अंश मांडितां येतात. या प्रकारचीं उष्णमापकें लंडन येथील ग्रिफीन आणि कंपनी विकतात.

सोबतची आकृति पाहिली ह्मणजे आपल्या लक्षांत येईल कीं, या उष्णमापकाचे मुख्य भाग A फुगा आणि A B C नळी हे आहेत. यांत A B हा हवेचा भाग आहे. आणि त्याच्या आकारमानांतील फेरफार B C पाण्याच्या स्तंभाच्या खालवर सरण्यानें स्पष्ट दिसतात.



आकृति १३वी.

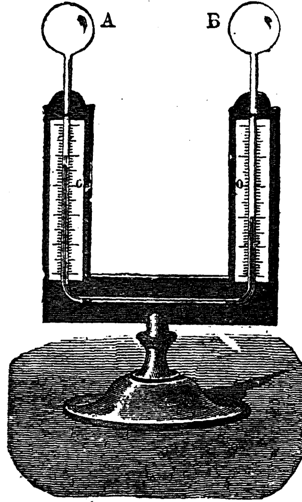
EE हें एक भांडें असून त्यास फुग्याच्या सभोंवतीं बसवितां येतें, व त्यांत द्रव भरतां येतो. कित्येक प्रयोगांत या भांड्याचा उपयोग फार होतो. A B भागांतील हवेच्या आकारमानांत उष्णमानानें फेरफार होतात. आणि C भांड्यांतील द्रवाच्या पृष्ठभागावरील दाबांत फेरफार होतील त्याप्रमाणेंही फेरफार होतात. यास्तव या उष्णमापकावर एकदां मांडिलेले अंश सर्वदा उपयोगीं पडत नाहींत. हा या यंत्राचा मोठा दोष आहे.

प्रयोग—असलें हवेचें उष्णमापक सहज करून किंवा मिळवून त्याचें कार्य दाखवितां येतें. शीत करणें झाल्यास फुग्यावर इथर हा मद्यार्क ओतावा, आणि उष्ण करणें झाल्यास फुग्यावर हात ठेवावा. हात लावतांच द्रव खालीं उतरतो आणि इथर ओततांच द्रव वर चढतो.

२१. **लेस्लीचें भेदोष्णमापक**—आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें A आणि B हे दोन फुगे काटकोनाकार नळीनें जोडून हें उष्णमापक केलेलें असतें. या दोहों फुग्यांत हवा असते; आणि हे दोन हवेचे समान भाग कांहीं सल्फ्युरिक आसिड वांकविलेल्या नळींत भरून वेगळे केलेले असतात; या आसिडाच्या खालवर सरण्यानें एकाहून दुसरा फुगा उष्ण किंवा थंड आहे हें समजतें. A आणि B हे फुगे जेव्हां भिन्न उष्णमानांवर असतात, तेव्हांच मात्र या दोहोंच्यां उष्णमानांतील भेद दाखविण्याच्या हें उपयोगीं पडतें. म्हणूनच यास भेदोष्णमापक असें नांव दिलेलें आहे.

जेथें याचा उपयोग करितां येईल तेथें याच्या योगानें सर्वदा फार सूक्ष्म उष्णमानें समजतात. हा याच्या अंगीं मोठा गुण आहे. हें उष्णमापक चोहोंकडून बंद असल्यामुळें हवेच्या उष्णमापकाप्रमाणें वातावरणाच्या दाबांत फेरफार झाल्यामुळें यावर कांहीं

परिणाम घडत नाहींत. परंतु कोणत्याही एकाद्या स्थळाचें किंवा खोलीचें उष्णमान मापण्यास हें उपयोगी पडत नाहीं.



आकृति १४ वी.

प्रयोग—अनेक कारणांकरितां या उष्णमापकाचा उपयोग करितां येतो. उदाहरणार्थ दोहों हातांपैकीं कोणता हात जास्त उष्ण आहे, हें पाहातां येतें. आणि दुसऱ्याही कित्येक प्रयोगांत याचा उपयोग होतो. त्यांपैकीं कांहीं प्रयोग उष्णता विसर्जनाच्या प्रकरणांत पुढें दिले आहेत.

२२. **उष्णमापकांत पाऱ्याचा साधारणपणें उपयोग करितात त्याचीं कारणें**—ज्या कित्येक द्रवांचा उष्णमापकांकरितां उपयोग करितां येतो, त्या सर्वांत पाऱ्याचा फार साधारणपणें उपयोग करितात, हें वाचकांच्या लक्षांत आलें असेल. यास अनेक कारणें आहेत, व तीं खालीं दिलीं आहेत.

(१) पारा कांचेस चिकटत नाहीं. म्हणून जेव्हां उष्णमापकांतील पारा आकुंचन पावतो, तेव्हां कांचेस चिकटून कांहीं मागें राहात नाहीं. जर द्रव कांचेस चिकटला, तर कांहीं मागें राहील, आणि त्यामुळें असावें त्यापेक्षां कमी उष्णमान दिसेल.

(२) जीं उष्णमानें मापण्यास साधारणपणें उष्णमापकाचा उपयोग करितात, त्या उष्णमानांच्या मर्यादेंत पारा थिजत नाहीं, किंवा कढत नाहीं.

(३) अनेक कारणांवरून वायूचें प्रसरण सारखें असतें, असें समजलें आहे; आणि वायूच्या प्रसरणाशीं तुलना केली असतां पाऱ्याचें प्रसरण बरेंच सारखें व नियमित असतें.

(४) पारा सहज शुद्धावस्थेंत मिळवितां येतो.

(५) पाऱ्याची विशिष्टउष्णता कमी आहे. (प्रकरण ११ पहा.) म्हणजे पाण्याशीं तुलना केली असतां पाऱ्यास उष्ण करण्यास फार उष्णता लागत नाहीं. म्हणून ज्याचें उष्णमान मापावयाचें आहे, त्या पदार्थास पाण्याचें उष्णमापक जितकें थंड करील तितकें पाऱ्याचें करीत नाहीं.

(६) पारा शीघ्रउष्णवाहक आहे; ह्मणून त्याच्या सभोंवार जो द्रव किंवा पदार्थ असेल त्याच्या इतका हा लवकर सर्व भागीं उष्ण होतो. म्हणून विवक्षित उष्णमानावर त्याच जितकें एकंदर प्रसरण व्हावें, तितकें प्रसरण लवकर होतें.

प्रकरण १ यावर प्रश्न.

(१) फुगा सावकाश जितका आकुंचन पावावयाचा तितका आकुंचन पावण्यापूर्वी, म्हणजे फुग्याचें मंद आकुंचन पूर्ण होण्यापूर्वी उष्णमापकावर थिजण्याच्या बिंदूची खूण केली आहे; म्हणून थिजण्याच्या बिंदूची खूण केल्यावर फुग्याचें तसेंच आकुंचन पुढें चाललें. यास्तव त्या उष्णमापकावर यानंतर पाहिलेलीं उष्णमानें खऱ्या उष्णमानापेक्षां जास्त किंवा कमी असतील ? व ही चूक किती होईल हें कसें काढितां येईल ?

(२) ६०°, ३०°, २३°, ०° आणि—४०° **फारेनहीट** उष्णमापकाचे आहेत; याचे **शतभाग** अंश कर.

(३) २००°, २०°,—४°,—३०°, आणि ४०°, **शतभाग** उष्णमापकाचे आहेत. याचे **फारेनहीट** अंश कर.

(४) काढण्याच्या बिंदूपासून थिजण्याच्या बिंदूपर्यंत अंतर ५.३ इंच असेल, तर फारेनहीटच्या १° ची लांबी काय होईल ?

(५) याच उष्णमापकावर थिजण्याच्या बिंदूपासून ०° फा. पर्यंत किती इंच लांबी असेल ?

(६) या उष्णमापकावर शतभाग एका अंशाची लांबी काय होईल ?

(७) थिजण्याचा बिंदू काढतांना फुग्यांतील व नळींतील पाऱ्यासभोंवतीं वितळणारें बर्फ ठेविलें पाहिजे. तसें केलें नाहीं तर थिजण्याचा बिंदू जो निघेल त्यांत किती चूक होईल ?

(८) तसेंच कढण्याचा बिंदू काढतांना सर्व पाऱ्यासभोंवतीं कढत्या उष्णमानाची वाफ ठेविली नाहीं तर काय चूक होईल ?

(९) फ्रान्स देशांत जानेवारी महिन्याच्या तिसऱ्या तारखेस लघुतमउष्णमान —१०° श होतें; आणि त्याच रात्रीं इंग्लंडांत ८° फा होतें. या दोहोंपैकीं कोणत्या ठिकाणीं थंडी फार होती? आणि फा. आणि श. अंशांत किती अंतर होतें तें काढ?

(१०) सूक्ष्मउष्णमापक करण्यास कोणता द्रव जास्त योग्य आहे, हें पाहाण्याकरितां चार भिन्न द्रवांच्या प्रसरणांची तुलना करण्याच्या प्रयोगांत सारख्या फुग्याच्या व सारख्या भोकाच्या नळ्या घेणें अवश्य होतें. कारण येणेंकरून केवळ द्रवांच्या धर्मांवरूनच मात्र त्यांच्या प्रसरणांत भेद पडेल. चारही नळ्या सारख्या आहेत किंवा नाहींत ही परीक्षा कशी करितां येईल?

(११) २१२°, ३५°, २६°, ०°, आणि—१०° फारेनहीटचे अंश आहेत. त्यांचे रिआमरचे अंश कर.

(१२) ९००, १०°, ०°,—१०°—५०° रिआमरचे अंश आहेत; यांचे फारेनहीट अंश कर.

(१३) २०°,—३०° शतभाग आहेत त्यांचे रिआमरचे अंश कर; आणि ३०°,—२५° रिआमरचे अंश आहेत त्यांचे शतभाग अंश कर.

प्रकरण २.

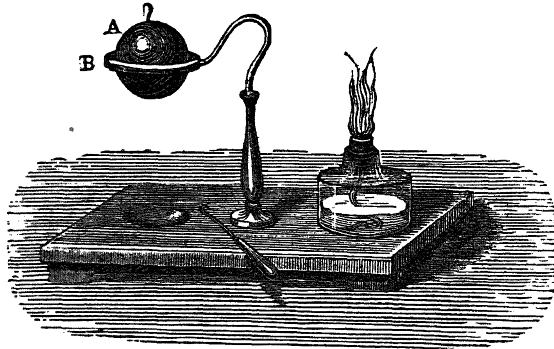
घनपदार्थांचें प्रसरण.

२३. **प्रसरणाविषयीं साधारण गोष्ट**—घनपदार्थ उष्णतेनें प्रसरण पावतात ही गोष्ट आपल्या नेहमीच्या पाहण्यांतली आहे, आणि याविषयीं थोडीं उदाहरणें मनांत आणण्यास फारसें कठीण जाणार नाहीं.

आगगाडीचा रस्ता करण्यास लोखंडी पट्या बसवितांना उन्हाळ्यांत प्रसरण पावून जी त्यांची लांबी वाढते, व हिवाळ्यांत थंडीनें आकुंचन पावून जी त्यांची लांबी कमी होते, या दोहोंस वाव ठेवण्याकरितां निरनिराळ्या पट्यांमध्यें जागा राखितात.

त्याचप्रमाणें मोठमोठ्या नळांचे लोखंडी पूल बांधितांना निरनिराळे तुकडे खिळ्यांनीं एकमेकांत बसवून फार लांबीचे नळ केलेले असतात, तेव्हां ते नळ दुर्बिणीच्या नळ्यांप्रमाणें एकांत एक सरण्याजोगे बसवावे लागतात; आणि दगडांच्या मच्छांवर वरून गाड्या वगैरे जात असतां घर्षण कमी व्हावें झणून गोल रूळ बसविलेले असतात.

उष्णतेनें पदार्थ सर्व दिशांनीं प्रसरण पावतात ही गोष्ट ग्रेव्हसेंडीचें कंकण आणि गोल या यंत्रानें दाखवितां येते.



आकृति १९ वी.

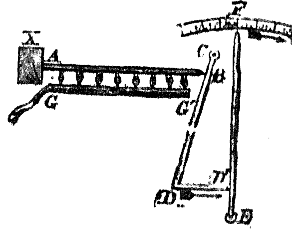
प्रयोग— A हा पितळेचा छोटा गोल आहे. हा गोल जर पोकळ असेल तर चांगला; कारण पोकळ असला झणजे त्यास लवकर उष्ण करितां येतें. B हें पितळेचेंच कंकण असून, जेव्हां दोहोंचें उष्णमान समान असतें तेव्हां त्यांतून A गोल खालवर सरकतो; परंतु A गोलास उष्ण केलें व त्यास B कंकणावर कसेंही ठेविलें, तर तो

त्यांतून उतरत नाहीं; त्यास फिरवून B कंकणावर निरनिराळ्या स्थितींत ठेवून पाहिलें ह्मणजे तो सर्व दिशांनीं प्रसरण पावला आहे असें दिसेल.

२४. **पदार्थ लांबीनें प्रसरण पावतात हें पाहणें.**—कोणत्याही धातूची १ फूट लांबीची कांब असली म्हणजे ती जितकी प्रसरण पावेल त्याच्या ६ पट त्याच पदार्थाची ६ फूट लांबीची कांब प्रसरण पावेल. ह्मणून प्रसरण पाहण्यास त्या धातूची बऱ्याच लांबीची कांब घेऊन तिची लांबी किती वाढते, हें पहावें हें चांगलें.

याकरितां एक लांब पितळेची गोल कांब घेऊं. तिला ज्योतींत धरून उष्ण केलें तर तिची लांबी वाढली आहे असें आपणास समजेल. परंतु ही लांबी किती वाढली आहे हें स्पष्ट कळण्याकरितां वाढीचें मान कोणत्या तरी रीतीनें आपणास वाढविलें पाहिजे, म्हणजे मोठें केलें पाहिजे.

बाजूच्या आकृतींत यंत्र दाखविलें आहे त्यांत ही योजना आहे. A B ही गोल कांब दोन आधारांवर आडवी बसविलेली आहे. तिचें A टोंक X या घनतुकड्यास टेंकलेलें आहे. दुसरें टोंक CBDD′ या उच्चालकावर दाबीत आहे, व हा उच्चालक C टेंकूवर फिरता आहे. हें टोंक आणखीं E टेंकूवर फिरत्या अशा ED′ F या दुसऱ्या उच्चालकास दाबीत आहे.



आकृती १६ वी.

उदाहरणार्थ— जर CD, लांबी CB च्या सात पट असेल, आणि EF लांबी ED′ च्या १० पट असेल तर AB चें प्रसरण स्थूलमानानें ७×१० किंवा ७० पट मोठें दिसेल.

प्रयोग— या आकाराचें यंत्र नीट चालण्याजोगें तयार करण्यास फारसे आयास पडणार नाहींत. AB कांबीखालीं GG′ या लांब पन्हळांत मद्यार्क घालून पेटवावा आणि कांबीस उष्ण करावें.

२५. **घनपदार्थांच्या प्रसरणाचा व आकुंचनाचा जोर**—आपण पाहिलें कीं हें प्रसरण व आकुंचन फार थोडें असतें. परंतु तें थोडें आहे म्हणून त्याकडे व्यवहारांत दुर्लक्ष करितां येत नाहीं. तें जरी थोडें आहे तरी त्याचा जोर फार असतो व त्याचा प्रतिकार किंवा त्यास प्रतिबंध सहज करितां येत नाहीं. ह्मणून आपणास प्रसरणाकरितां नेहमीं जागा ठेवावी लागते.

दोन भिंती ओळंब्यांतून दोहोंबाजूंस बाहेर कलल्या होत्या, त्यास जवळ ओढण्याकरितां निदान एका प्रसंगीं आकुंचनाच्या जोराचा उपयोग करण्यांत आला होता. दोहीं भिंतींत अनेक आडव्या कांबी बसवून एका भिंतीच्या बाहेरच्या बाजूस एका लोखंडी पट्टीमध्यें त्यांचीं टोकें गच्च बसविलीं होतीं; व दुसऱ्या भिंतीच्या बाहेरच्या बाजूस त्यांवर मळसूत्राच्या माद्या बसविण्याची योजना केली होती.

त्यांस प्रथम उष्ण केलें, आणि जेव्हां त्या प्रसरण पावल्या, तेव्हां मळसूत्रें फिरवून माद्या गच्च बसविल्या. त्या जसजशा शीत होऊन आकुंचित झाल्या त्याप्रमाणें भिंती

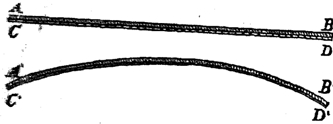
एकमेकांकडे ओढल्या गेल्यामुळें त्या आंतल्या बाजूस वळल्या. नंतर त्यांस पुनः टेंकावे देऊन त्याप्रमाणेंच केलें. असें कांहीं वेळ केल्यावर भिंती ओळंब्यांत आल्या.

२६. **भिन्नभिन्न धातूंच्या प्रसरणांतील अंतर**—निरनिराळे घनपदार्थ सारखे प्रसरण पावत नाहींत. या गोष्टीच्या कांहीं परिणामांविषयीं व व्यावहारिक उपयोगांविषयीं आतां विचार करूं.

खालीं दिलेलीं उदाहरणें रोजच्या पाहण्यांत येतात. दिव्याच्या कांचेच्या चिमणीवर धातूची विडी असते. ज्या ठिकाणीं धातु व कांच यांचा जोड केलेला असतो, त्या ठिकाणीं त्यांच्या भिन्न भिन्न प्रसरणांस वाव राखण्याविषयीं कांहीं योजना केलेली नसल्यास उष्णमानांत फेरफार झाल्यानें कांचा फुटतात. तसेंच चाकूच्या हस्तिदंती मुठींत बसविलेल्या लोखंडी तुकड्याच्या फाजील प्रसरणामुळें मुठीसकट चाकू कढत ण्यांत बुडविला म्हणजे हस्तिदंती मुठी तडकून फुटतात. या सारखीं दुसरींही उदाहरणें पाहण्यांत येतात.

विशेषेंकरून चमत्कारिक अशीं कांहीं उदाहरणें घेऊं.

संयुक्त कांबीचें वक्राकार वांकणें—C D या लोखंडी पट्टीवर A B ही तांब्याची पट्टी मोळे फुलवून गच्च केलेली अशी A B C D ही संयुक्त पट्टी आहे. ज्या उष्णमानावर त्यांस एकत्र जोडलें असेल त्या उष्णमानावर ही कांब सरळ असते. (आ. १७ पहा)



आकृति १७वी.

तिला उष्ण केलें म्हणजे तांबें जास्त प्रसरण पावेल. मग मोडल्याशिवाय तांब्यास कसें प्रसरण पावतां येईल? तर हें उघड आहे कीं, वक्र झालेल्या लोखंडाच्या सभोंवतीं बाहेरून तांब्याची कांब वांकलेली राहून तिला प्रसरण पावतां येईल. म्हणजे उष्ण केल्यावर दोहों कांबींचा वर्तुळकंस होईल. कारण अशा संयुक्त कंसांत बाहेरची पट्टी अधिक लांब असली पाहिजे. शर्यतीचें चक्र जर वर्तुळाकार असेल तर त्या चक्रावर शर्यत खेळतांना अगदीं बाहेरच्या बाजूस जो मनुष्य असेल त्यास सर्वांत जास्त अंतर पळावें लागतें.

प्रयोग—अशी संयुक्त कांब करून तिला उष्ण केल्यावर जो परिणाम घडतो तो पाहणें फार सोपें आहे.

२७. **समतोलता राखणारें छोट्या घड्याळांतील तुलाचक्र**—छोट्या घड्याळांत मागें पुढें सरणारें जें तुलाचक्र असतें तें सर्वांच्या पाहण्यांत असतें. प्रत्येक वेळीं तें पुढें मागें गेलें म्हणजे घड्याळाच्या चक्रांपैकीं एका दंतुरचक्राचा एक दांत सुटतो, व सेकंद कांटा एक घर पुढें उडतो. म्हणून ज्या वेगानें हें चक्र पुढें मागें सरेल, त्या वेगावर घड्याळाची चाल अवलंबून असते.

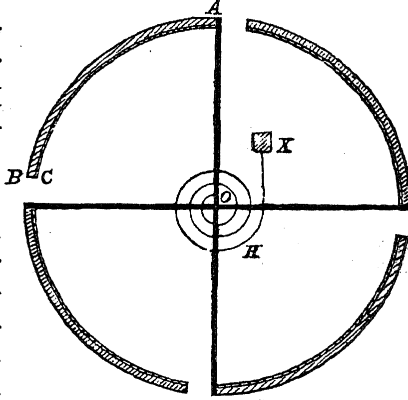
आतां हें चक्र केंसासारख्या बारीक कमानीच्या योगानें मागें पुढें सरतें. हें चक्र जर जास्त जड झालें, किंवा वजन तेवढेंच राहून चक्राचा व्यास वाढला तर तें साव-

होईल, किंवा त्याचा व्यास कमी होईल तर तें अधिक जलदीनें पुढें मार्गे सरेल.

आतां आपणास प्रसरण व आकुंचन यांचा विचार करणें आहे. या दोनही क्रियांनीं चक्राच्या वजनांत फरक पडत नाहीं. परंतु त्याच्या व्यासांत फरक होतो, म्हणून येणेंकरून घड्याळाच्या चालण्याच्या वेगांत फरक पडेल.

याकरितां घड्याळ नियमित रीतीनेंच चालावें अशी जर आपली इच्छा असेल, तर चक्राचा जड असा भाग जो परीघ तो, प्रसरण किंवा आकुंचन झालें तरी ज्या आंसावर चक्र पुढें मागें सरत आहे, म्हणजे हेलकावे खात आहे, त्या आंसापासून सारख्या अंतरावर एकंदरींत राहावा, अशी योजना आपण केली पाहिजे.

हा उद्देश खालीं लिहिल्या रीतीनें सिद्धीस जातो. सोबतच्या आकृतींत तुलाचक्र दाखविलें आहे. त्यांत परिघाचे चार तुकडे असून प्रत्येक तुकडा आऱ्यास फक्त एका टोंकाकडे मात्र बसविलेला आहे व दुसरें टोंक मोकळें आहे. H ही केशाकृति कमान असून तिचें एक टोंक X या जाड तुकड्यांत बसविलेलें आहे, व दुसरें टोंक चक्राच्या आंसावर बसविलेलें आहे. (आ. १८ पहा). (चक्राच्या ज्या भागांविषयीं आपणास विचार करावयाचा आहे त्यांच्या आड येऊं नये ह्मणून H कमान फार लहान अशी आकृतींत दाखविली आहे.) चक्राच्या परिघाचा प्रत्येक तुकडा दोन धातूंच्या पट्ट्या एकावर एक बसवून केलेला आहे, व त्यांत जास्त प्रसरण पावणारा धातु बाहेरच्या बाजूस आहे.



आकृति १८.

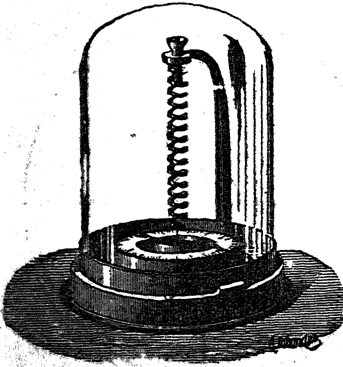
जेव्हां चक्र उष्ण होतें तेव्हां O A त्रिज्या प्रसरण पावल्यामुळें O मध्यापासून परिघावरील तुकडा अधिक दूर जातो. म्हणून चक्राचा व्यास लांब झाल्यामुळें चक्र सावकाश पुढें मागें सरेल, आणि घड्याळ मागें पडेल.

परंतु A B हा परिघाचा तुकडा संयुक्त असून जास्त प्रसरण पावणारा धातु बाहेरच्या भागास असल्यामुळें आंतल्या बाजूस वळेल, असें आपणास माहीत आहे. हा तुकडा जितका जास्त आंत वळेल तितकें चक्र अधिक जलद हेलकावे खाईल. परिघाच्या वळ्याचें A टोंक मध्यापासून दूर जाईल, आणि B C टोंक मध्याच्या जवळ येईल. A टोंक जितकें दूर जाईल, तितकेंच B C टोंक मध्याजवळ यावें, अशा प्रमाणानें त्रिज्या

आणि A B C संयुक्त कांब या दोहोंच्या लांबी ठेविल्यानें दोहोंच्या प्रसरणांपासून एकमेकांचें समतोलन होईल, आणि येणेंकरून चक्र सारख्या वेगानें मागें पुढें सरेल, आणि घड्याळ जलद किंवा सावकाश चालणार नाहीं. चक्र शीत झालें म्हणजे A टोंक आकुंचनानें मध्याजवळ येईल, आणि परिघावरील जास्त प्रसरण पावणारा धातु जास्त आकुंचन पावेल व त्यामुळें परिघाचा तुकडा बाहेरच्या बाजूस वक्र होईल व B C टोंक मध्यापासून दूर जाईल. याकरितां चक्र सारख्या वेगानेंच चलन पावेल.

समुद्रांतून जलपर्यटण करीत असतां उष्णमानांत फेरफार झाले तरी सारख्या वेगानें चालणारें घड्याळ जवळ असणें फार उपयोगाचें व महत्वाचें असतें. कारण अशा वेळीं स्थानिक वेळेची म्हणजे ज्या स्थळीं जहाज असेल तेथील वेळेची दुसऱ्या कोणत्या तरी प्रमाणभूत वेळेशीं उदाहरणार्थ ग्रीनवीचच्या वेळेशीं तुलना करून त्या स्थळांचे रेखांश काढितां येतात.

२८. **ब्रेग्वेटचें दोन धातूंचें उष्णमापक**—कलम २६ यांत आपण पाहिलें कीं, संयुक्त पट्टीचा तुकडा बहुतेक वर्तुळाकार असा वांकविला, आणि जास्त प्रसरण पावणारा धातु बाहेरच्या बाजूस ठेविला तर त्यास उष्ण केल्यावर तो तुकडा जास्त वक्र होऊन त्यास जास्त बांक येईल.



आकृति १९ वी.

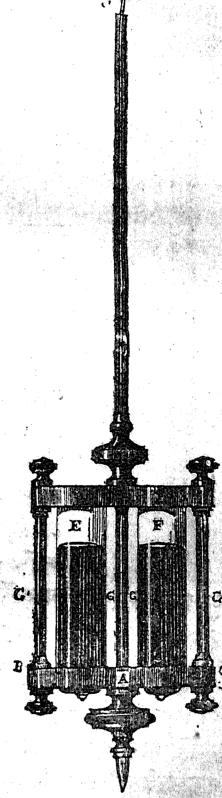
अशी संयुक्त पट्टी घेऊन स्क्रूसारखी म्हणजे नागमोडीसारखी वांकविली, तर तिला उष्ण केल्यावर तिचीं वळीं अधिक वक्र होतील. याकरितां अशा पट्टीचें एक टोंक कशास तरी टांगून पक्कें बसविलें, आणि दुसरें टोंक खालीं मोकळें ठेवून त्यास एक टोंक असलेल्या तारेचा हलका तुकडा किंवा कांटा मानपट्टीवरून सरकण्या जोगा अडकविला, तर त्याचें टोंक निरनिराळें उष्णमान असतां निरनिराळ्या अंशावर राहील असें आपणास आढळेल. (आ० १९ पहा.)

या प्रकारचें साधें यंत्र आपणास करवितां येईल. पितळ, आणि जस्त या धातूंच्या पातळ पत्र्यांच्या दोन पट्ट्या अर्धा इंच रुंद व एक यार्ड लांब अशा चिंचोळ्या घेऊन त्यांस एकावर एक बसवून त्यांची संयुक्त पट्टी करावी. नंतर भरींव लांकडी रुळावर तिला गुंडाळून नागमोडीचा आकार द्यावा. तिचीं दोन्ही टोंकें सरळ नागमोडीच्या आंसावर आणावीं, आणि एका टोंकास सुईसारखें टोंक असलेला पितळेच्या तारेचा तुकडा डांकानें बसवावा. (आ० २० पहा.)

आकृति २० वी.

आंदोलक.—दोन भिन्न पदार्थांच्या प्रसरणांत जें अंतर असतें, त्यावर या आंदोलकाचें कार्य अवलंबून असतें; म्हणून याचें कार्य मागच्याहून भिन्न रीतीनें घडतें.

O A हा लांकडी दांडा आहे. B C हें एक भांडें आहे, E आणि F या पाऱ्यानें भरलेल्या दोन लांबोळ्या कुप्या आहेत. टांगलेल्या बिंदूपासून आंदोलकाच्या लोळ्याच्या किंवा लंबकाच्या गुरुत्वमध्यांचें अंतर जसें जास्त कमी होईल, त्याप्रमाणें आंदोलकाचे झोले जास्त कमी सावकाश किंवा जलद होतील. या आंदोलकांत पाऱ्याच्या दोन कुप्या लोळ्याच्या जागीं आहेत. म्हणून त्यांच्या गुरुत्वमध्यांतून जाणारी रेषा G′ G G″ असेल, तर ज्या वेगानें आंदोलक झोले खाईल तो वेग, आणि म्हणून घड्याळ चालण्याचा वेग हे O G या लांबीवर अवलंबून राहतील, असें आपणास म्हणतां येईल. (आ० २१ पाहा.)



आकृति २१ वी.

आतां O A हा लांकडाचा तुकडा उष्णकाळांत प्रसरण पावेल, आणि तेणेंकरून G गुरुत्वमध्य खालीं जाईल. याकरितां घड्याळ सावकाश चालूं लागेल. परंतु पाराही वरच्या बाजूस प्रसरण पावेल व त्यामुळें G गुरुत्वमध्य चढेल. हीं दोन प्रसरणें परस्पर विरुद्ध अशा दिशांनीं होत असल्यामुळें जर O G लांबी सर्वदां सारखी राहील तर समतोलन होऊन घड्याळ सारख्या वेगानें चालेल.

पाऱ्याचा माथा जर १ इंच वर चढला तर गुरुत्वमध्य ½ इंच वर चढेल. हें लक्षांत आणिलें तर एकंदर लांकडाचें खालच्या बाजूस जितकें प्रसरण होईल, त्याच्या दुप्पट पाऱ्याचें वरच्या बाजूस प्रसरण झालें पाहिजे हें उघड आहे.

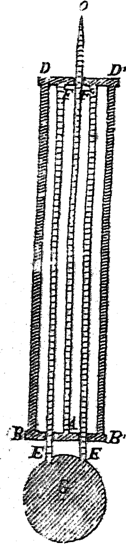
व्यवहारांत असा आंदोलक करितां येतो याचें कारण, लांकडाहून पारा जास्त प्रसरण पावतो, या गोष्टीवर अवलंबून आहे.

टीप—आंदोलकावर कांहीं प्रश्न पुढें दिले आहेत.

जर उष्णमान कमी झालें तर त्याचा परिणाम कसा होईल हें उघड आहे. उष्ण-

मान कमी झाल्यानें दोन्ही आकुंचित होतील, परंतु पारा लोकडाच्या दुप्पट आकुंचन पावेल. यामुळें O G ची लांबी सारखी राहील.

३०. **हारिसनचा जाळीचा आंदोलक**—या आंदोलकांत O A हा लोखंडी गज प्रसरण पावला म्हणजे B B ही कांब खालीं जाते. B D आणि B′D′ याच कारणानें वरच्या बाजूस प्रसरण पावून D D′ या वरच्या आडव्या कांबीस वर चढवितात. आणि F E आणि F′ E′ हे लोखंडी दांडे खालच्या बाजूसच प्रसरण पावून लोळ्यास खालीं नेतात. (आ० २२ पहा.)



आकृति २२ वी.

यास्तव लोळ्याचा G गुरुत्वमध्य O A आणि F E यांच्या प्रसरणानें खालीं जातो, आणि B D या दांड्यांच्या प्रसरणानें वर चढतो. या जातीच्या खऱ्या आंदोलकांत वरच्या बाजूस प्रसरण पावणारे पितळेचे दांडे, आणि खालच्या बाजूस प्रसरण पावणारे लोखंडी दांडे यांची संख्या वर सांगितल्याहून जास्त असते. सर्व दांडे आकृतींत दाखविले असतां गोंधळ होईल, म्हणून दाखविले नाहींत. यांतील मुख्य तत्व असें असतें कीं, लोळ्यास वर चढविणाऱ्या पितळेच्या दांड्यांहून खालीं उतरणाऱ्या लोखंडी दांड्यांची संख्या एकानें नेहमी जास्त असते. परंतु पितळ लोखंडाहून जास्त प्रसरण पावते म्हणून दोहोंच्या लांब्या आपणास अशा ठेविल्या पाहिजेत कीं, एकंदरींत गुरुत्वमध्य खालीं उतरूं नये; आणि यास्तव आंदोलक व त्यावरून घड्याळ सारख्या वेगानें चालावें.

घन पदार्थांचें प्रसरण गुणक.

३१. **प्रसरण गुणकाचा साधारण अर्थ**—पितळ, लोखंड, जस्त इत्यादि धातु परस्पर भिन्न अशा मानानें प्रसरण पावतात. तथापि एकाच धातूचें प्रसरण पावण्याचें मान नेहमीं सारखेंच असतें. पितळ लोखंडाहून जास्त प्रसरण पावते; परंतु एक यार्ड लांबीचा पितळी गज ज्या मानानें प्रसरण पावतो, त्याच प्रमाणानें एक मैल लांबीचा पितळी गज प्रसरण पावतो. तसेंच एक यार्ड लोखंडी गज ज्या मानानें प्रसरण पावतो, त्याच मानानें एक मैल लोखंडी गजही प्रसरण पावतो.

म्हणून जर विवक्षित लांबीची लोखंडी कांब उदाहरणार्थ १ यार्ड घेऊन तिचें विवक्षित उष्णमान चढविलें असतां ती किती प्रसरण पावते म्हणजे किती लांबीनें वाढते, हें आपण एकदां काढिलें, म्हणजे दुसऱ्या कोणत्याही लांबीची लोखंडी कांब किती प्रसरण पावेल हें सहज काढितां येईल. तसेंच १ यार्ड लोखंडी कांबीचें विवक्षित उष्णमान चढविलें असतां ती किती प्रसरण पावते, हें काढिल्यास दुसऱ्या कोणत्याही उष्णमानावर ती किती प्रसरण पावेल हेंही काढितां येईल. यास्तव कोणत्याही लांबीची लोखंडी कांब कोणत्याही उष्णमानावर किती प्रसरण पावेल हें काढितां येईल.

या ठिकाणीं पदार्थ लांबीनें किती प्रसरण पावतात किंवा वाढतात याचा मात्र आपण विचार करीत आहों. प्रसरणाचे नियम समजण्यास ही गोष्ट सर्वांत साधी असल्यानें तूर्त याचाच विचार करूं.

लोखंड, जस्त इत्यादि धातूंचे पदार्थ लांबीनें कसे वाढतात किंवा प्रसरण पावतात, याची तुलना करण्यास, आणि कोणत्याही उदाहरणांत किती प्रसरण झालें आहे, हें काढितां येण्यास, आपणास पुढें लिहिल्याप्रमाणें हिशेब केला पाहिजे. प्रत्येक पदार्थ एक यार्ड किंवा एक फूट अशा सारख्या लांबीचा घ्यावा, आणि सर्वांचें आरंभीं उष्णमान सारखें ठेवावें. उदाहरणार्थ ०°श. ठेवावें. नंतर त्यांचें सारखें उष्णमान उदाहरणार्थ १°श. चढवावें. आणि नंतर ०°श वर जी प्रत्येकाची लांबी होती तिचा कितवा भाग प्रत्येक पदार्थ लांबीनें वाढला आहे हें पाहावें; म्हणजे त्यांच्या प्रसरणाची चांगली तुलना करण्यास आपणाजवळ साधनें होतील. पदार्थ लांबीनें किती वाढतो, हें ह्या अपूर्णांकावरून समजतें, व यास **लांबीचा प्रसरण गुणक** असें म्हणतात. ०°श पासून १°श पर्यंत उष्ण केल्यास पदार्थ जितका प्रसरण पावतो, तें प्रसरण ०°श वरील लांबीचा कितवा अंश आहे हें या अपूर्णांकावरून समजतें. प्रत्येक पदार्थाच्या प्रसरण गुणकाची संख्या नियमित व ठाम असते, म्हणून त्याच्या अर्थाविषयीं शंका येण्यास कांहीं जागा नसते.

३२. **लांबीच्या प्रसरण गुणकाचा हिशेबांत उपयोग**—निरनिराळ्या पदार्थांचा प्रसरण गुणक निरनिराळा असतो. म्हणून जेव्हां लोखंड किंवा पितळ अशा एखाद्या विशेष पदार्थाविषयीं विचार करण्याचा नसेल, तेव्हां उदाहरणें सोडवितांना हा अपूर्णांक ग या अक्षरानें दर्शवीत जाऊं.

वर जो अर्थ सांगितला आहे, त्यावरून ०°श. वर ज्याची लांबी १ यार्ड असेल, (या जागीं १ फूट, १ मैल, किंवा १ इंच असली तरी हरकत नाहीं.) त्याची १°श. वर (१+ग) यार्ड लांबी (फूट, मैल इ०) होईल. या ठिकाणीं ग हा लहान अपूर्णांक आहे.

टीप—या पुढें नेहमीं गोंधळ न व्हावा म्हणून लांबी घेतांना एक यार्डच घेऊं. परंतु याच्या जागीं मैल, इंच वगैरे घेतल्यास हरकत नाहीं हें लक्षांत ठेवावें.

०°श. वर १ यार्ड लांबी असल्यास २°श वर (१+२ ग) यार्ड होईल.
०°श. ,, ३°श वर (१+३ ग) ,,
०°श. ,, ३०°श वर (१+३० ग) ,,

याच प्रमाणें पुढें समजावें.

तसेंच ही कांब शीत करितांनाः—

०°श वर १ यार्ड असल्यास, .. —१°श वर (१—ग) यार्ड होईल.
०°श वर ,, —२°श वर (१—२ ग) ,,

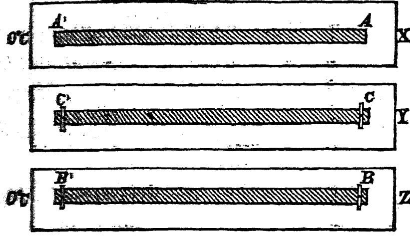
याच प्रमाणें पुढें समजावें.

३३. **प्रत्यक्ष प्रयोगानें लांबीचा प्रसरण गुणक काढणें.**—प्रत्येक प्रसरण गु-

आणि जो प्रसरण गुणक निघेल त्यास १०० नीं भागावें, हें सयुक्तिक आहे. या रीतींत जर यदा कदाचित कांहीं चूक झाली, तर तीही १०० नीं भागिली जाते.

ऱ्यामस्डेनची रीति.—या रीतीचें पूर्ण वर्णन न देतां येथें संक्षिप्त वर्णन मात्र दिलें आहे.

X, Y, Z या तीन पेट्या आहेत, व यांमध्यें परस्परांशीं समांतर अशा सारख्या जाडींच्या व लांबीच्या, कांबी आहेत. X कांबीच्या A आणि A′ या टोंकांवर परस्परांशीं काटकोनाकार अशा एकमेकांवर बसविलेल्या बारिक तारा आहेत. Z कांबीच्या B आणि B′ टोंकांवर दुर्बिणींचीं दोन पाहण्याचीं भिंगें आहेत; (आ० २३ पहा) व त्यां भिंगांच्या केंद्रांत आडव्या उभ्या तारा आहेत. Y कांबीच्या C आणि C′ टोंकांवर खालच्यांच दुर्भिणींचीं पदार्थाकडचीं म्हणजे पदार्थ दिसण्याचीं भिंगें आहेत.



आ० २३ वी.

प्रथमतः प्रत्येक पेटींत वितळणारें बर्फ भरून तिजमधील कांबीचें उष्णमान ०°श वर आणितात.

नंतर दुर्भिणी म्हणजे पाहाण्याचीं भिंगें व पदार्थ दिसण्याचीं भिंगें (हीं भिंगें C आणि C′ या ठिकाणीं दाखविलेल्या नळ्यांत बसविलेलीं असतात.) यांस मळसूत्र फिरवून अशा स्थितींत आणितात कीं A आणि A′ या ठिकाणच्या आडव्या उभ्या तारांचीं प्रतिबिंबें B आणि B′ या ठिकाणच्या पाहाण्याच्या भिंगांच्या केंद्रांत तेथच्या आडव्या तारांवरच येण्याजोगीं दिसावीं.

नंतर X आणि Z या कांबी ०°श. उष्णमानावरच ठेवून Y कांबीचें १००°श. पर्यंत उष्णमान चढवावें.

नंतर C C′ कांबीचें C टोंक पुढेंमागें सारून अशा जागीं आणावें कीं, A ठिकाणच्या आडव्या उभ्या तारा B ठिकाणच्या भिंगाच्या केंद्रांतच राहतील. नंतर C C′ कांबीच्या प्रसरणामुळें A′ ठिकाणच्या आडव्या उभ्या तारा B′ ठिकाणच्या भिंगाच्या केंद्रांत नाहींत, असें आपणास समजेल.

साधन असते.

हें जें मापिलेलें अंतर तेंच ०°श. वर असलेल्या C C′ कांबीचें उष्णमान १००°श. पर्यंत वाढविलें असतां जी तिची लांबी वाढते ती दर्शवितें, आणि जर C C′ कांबीची ०°श. वर लांबी मापिली असेल, तर त्यानें यास भागून प्रसरण गुणक काढितां येतो.

उदाहरण—असे समजा कीं ०°श. वर C C′ कांबीची लांबी २·३ मात्रा होती; आणि तिला १००°श. पर्यंत उष्ण केल्यावर जी तिचीं लांबी वाढली, म्हणजे C′ ठिकाणच्या नळीस ज्या अंतरांतून मागें सारावें लागलें, तें अंतर .००२७५५४ मात्रा होतें. तर कांबीचा प्रसरण गुणक काय?

२.३ मात्रा लांबीच्या कांबीचें ०°श. पासून १००°श. पर्यंत उष्णमान चढविल्यानें जी तिची लांबी वाढली ती ही आहे. म्हणून १ मात्रेचे ०°श. पासून १°श. पर्यंत उष्णमान वाढविल्यास जी लांबी वाढेल ती.

$$\frac{\cdot ००२७५५४}{२\cdot३\times१००} = \cdot००००११९८.$$

म्हणजे प्रसरणगुणक ·००००११९८ झाला.

३४. उदाहरणें सोडविणें—व्याजाची आकारणी करितांना नेहमीं आपण १०० रुपयांस किती व्याज मिळेल हें काढून त्रैराशिक मांडितों. त्याचप्रमाणें उष्णमानांत नियमित फेरफार झाल्यानें कोणत्याही पदार्थाच्या कांबीच्या लांबींत काय फेरफार होतो हें काढणें असेल तेव्हां त्या पदार्थाच्या कांबीच्या ०°श. वर असलेल्या १ यार्ड किंवा १ फूट लांबींत काय फेरफार होईल, हें काढून नंतर त्रैराशीक मांडावें.

थोडीं उदाहरणें सोडविल्यानें हें अधिक स्पष्ट समजेल.

उदाहरण १. एका ओतींव लोखंडाच्या कांबीची ०°श. वर ३ मात्रा लांबी आहे; तर २०°श. वर तिची लांबी किती होईल? ओतींव लोखंडाचा १°श. उष्णमानाचा लांबीचा प्रसरण गुणक ·००००११९८ आहे.

०°श. वर एक मात्रा लांबी असेल, तर २०°श. वर (१+२० ग) मात्रा लांबी होईल म्हणून त्रैराशिकः—

१ : १+२०ग : : ३ मात्रा : उत्तर. किंवा १ : १·०००२३९६ : : ३ : उत्तर.	ग=·००००११९८ २० ग=·०००२३९६ १+२० ग=१·०००२३९६

∴ म्हणून उत्तर=३×१·०००२३९६=३·०००७१८८ मात्रा.

उदाहरण २. ०°श. वर ६ मात्रा लांबीचा एक पितळेचा दांडा आहे. तर —८°श. वर त्याची लांबी किती होईल? १°श. उष्णमानाचा पितळेचा लांबीचा प्रसरणगुणक= ·००००१८८ आहे.

०°श. वर ज्याची लांबी १ मात्रा आहे त्याची −८°श. वर (१—८ ग) मात्रा होईल. म्हणून त्रैराशिकः—

१ : १—८ग : : ६ मात्रा : उत्तर.

किंवा १ : ·९९९८४९६ : : ६ : उत्तर.

ग = ·०००० १८८
८ ग = ·०००१५०४
१—८ ग = ·९९८४९६

उत्तर = ६ × ·९९९८४९६ = ५·९९९०९७६ मात्रा.

उदाहरण ३. २०°श. वर एका कांचेच्या नळीची लांबी ४ मात्रा आहे. तर ०°श. वर किती लांबी होईल? १°श. उष्णमानाचा कांचेचा लांबीचा प्रसरण गुणक = ·००००० ८५३ आहे.

आपणास असें माहीत आहे कीं ०°श. वर जिची लांबी १ मात्रा आहे. तिची २०°श. वर (१+२० ग) मात्रा होईल. म्हणून जिची लांबी २०°श. वर (१+२० ग) असेल तिची ०°श. वर १ मात्रा असेल. म्हणून त्रैराशिकः—

१+२० ग : १ : : ४ मात्रा : उत्तर.

किंवा १.०००१७०६ : १ : : ४ : उत्तर.

ग = ·००००८५३
२० ग = ·०००१७०६
१+२० ग = १·०००१७०६

∴ उत्तर = $\frac{४}{१·०००१७०६}$ = ३·९९९ मात्रा.

टीप—हें लक्षांत ठेवावें कीं, येथें व पूर्वी असें सर्वदां आपण ०°श. वर १ मात्रा लांबी आहे, असें कल्पितों. कारण आपल्या प्रसरणगुणकाचा या प्रमाणाशीं संबंध आहे.

उदाहरण ४. आगगाडीच्या घडींव लोखंडाच्या रूळाची ३०°श. वर ५ मैल लांबी आहे. तर −४०°श. वर किती असेल? घडींव लोखंडाच्या कांबीचा लांबीचा प्रसरणगुणक = ·००००११९८ आहे.

या स्थळीं ०°श. वर लांबी १ मैल आहे असें घेतलें पाहिजे. जर ०°श. वर १ मैल असेल तर ३०°श. वर (१+३० ग) मैल होईल, आणि −४०°श. वर (१—४० ग) मैल होईल.

यास्तव ३०°श. वर जी लांबी (१+३० ग) मैल होती, ती —४०°श. वर (१—४० ग) मैल होते. कारण दोहोंची ०°श. वर १ मात्रा लांबी होती. ५ मैल लांबीचा रूळ याच प्रमाणानें बदलेल. म्हणून त्रैराशिकः—

१+३० ग : १—४० ग : : ५ मैल : उत्तर.

किंवा १·०००३५९४ : ·९९९५२०८ : : ५ : उत्तर.

उत्तर = $\frac{·९९९५२०८×५}{१·०००३५९४}$

= $\frac{४·९९७६०४०}{१·०००३५९४}$

= ४·९९५ मैल.

ग = ·००००११९८
३० ग = ·०००३५९४
१+३० ग = १·०००३५९४
४० ग = ·०००४७९२
१−४० ग = ·९९९५२०८

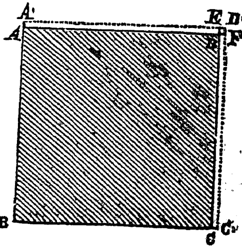
३५. **क्षेत्राचा प्रसरण गुणक**—लांबीच्या जागीं चौरस चौरस क्षेत्र जर घेतलें तरी लांबीच्या प्रसरण गुणकाचा जो अर्थ तोच क्षेत्राच्या प्रसरण गुणकाचा आहे. याकरितां लांबीच्या व क्षेत्राच्या प्रसरण गुणकांमध्यें काय संबंध आहे, एवढेंच दाखवून एक उदाहरण करूं. **गं** या अक्षरानें क्षेत्राचा प्रसरणगुणक दर्शवूं.

३६. **क्षेत्राच्या प्रसरणगुणकाचा लांबीच्या प्रसरण गुणकाशीं संबंध**—हा संबंध आपण दोन रीतींनीं दाखवूं.

(१) **आकृतीनें**—A B C D आकृति ०°श. वर असलेलें एक चौरस फूट क्षेत्र दर्शविते. (आ. २४ पहा) यास १° श. पर्यंत उष्ण केलें म्हणजे A′ B C′ D′ हा त्याचा मोठा चौरस होतो. हा चौरस पूर्वीच्या क्षेत्रापेक्षां किती वाढला आहे याचा विचार करूं.

जर **ग** हा लांबीचा प्रसरण गुणक असेल, तर ०° श. वर असलेली १ फूट लांबी १° श. वर (१+ग) फूट होईल. म्हणजे A A′, C C′, D E, आणि D F या छोट्या लांब्यांपैकीं प्रत्येक लांबी फुटाचा लहान **ग** अंश आहे.

त्याचप्रमाणें A A′ E D आणि D F C′ C हे दोन काटकोन चौकोन १ फूट लांब आणि **ग** फूट रुंदीचे आहेत; म्हणजे **ग** चौरस फूट क्षेत्राचे किंवा (१× ग) चौरस फूट आहेत. यांत **ग** हा लहान अपूर्णांक आहे. E D F D′ हें क्षेत्र **ग** फूट लांब आणि **ग** फूट रुंद आहे; म्हणजे **ग** × **ग**=**ग**^{2} चौरस फूट आहे.



आकृति २४ वी.

आतां आकृतीवरून आपणास असें दिसतें कीं, जर आपण हिशेबांत A A′ E D आणि D F C′ C या दोनच चिरफाळ्या घेतल्या तरी बस होईल. म्हणजे क्षेत्र जें वाढलें तें २ **ग** चौरस फूट वाढलें असें समजतां येईल. कारण **ग**^{2} चौरस फूट हें क्षेत्र **ग** फार लहान अपूर्णांक असल्यानें फार लहान असेल.

परंतु ०°श. वर असलेल्या १ चौरस फूट क्षेत्रास १°श. पर्यंत उष्ण केलें तर जें प्रसरण होतें तें हेंच आहे.

यास्तव जर **ग** हा लांबीचा प्रसरणगुणक असेल तर क्षेत्राचा प्रसरणगुणक २ **ग** होईल.

(२) **बीजानें**—०°श. वर जी लांबी १ फूट असते तीच १°श. वर (१+ग) फूट होते.

म्हणून ०°श. वर असलेला १ चौरस फूट १°श. वर (१+ग)^2 चौरस फूट होईल. परंतु (१+ग)^2=१+२ ग+ग^2. **ग** हा फार लहान अपूर्णांक आहे. याचा वर्ग याहून फार लहान होईल; म्हणून तो हिशेबांत धरिला नाहीं तर मोठीशी चूक होणार नाहीं. म्हणून आपणास असें म्हणतां येईल कीं ०°श. वर अस-

केला १ चौरस फूट १°श. वर १+२ ग चौरस फूट होतो; किंवा २·ग हा क्षेत्राचा प्रसरणगुणक आहे.

३७. क्षेत्राच्या प्रसरणाचें उदाहरण—पितळेच्या एका पत्र्याचें क्षेत्र –२०°श. वर ४.५ चौरस मात्रा आहे. तर ३०°श. वर त्याचें क्षेत्र किती होईल? पितळेचा लांबीचा प्रसरण गुणक=·०००१८८.

लांबीच्या वाढीच्या उदाहरणाप्रमाणेंच हें उदाहरण करावयाचें आहे. गच्या ठिकाणीं गं लिहावें आणि गं=२ ग धरावे.

१–२०गं : १+३०गं : : ४·५ चौ. मा : उत्तर,

किंवा ·९९९२४८ : १·००११२८ : : ४.५ : उत्तर.

उत्तर = १·००११२८×४·५ / ·९९९२४८

= ४·५०५०७६० / ·९९९२४८

=४.५०८ चौ. मा.

ग=·०००१८८
∴ गं= २ ग =·०००३७६
२०गं=·००७५२
∴ १–२०गं=·९९९२४८
३०गं=·०११२८
∴१ + ३०गं=१·००११२८

घन पदार्थांच्या प्रसरणाचा गुणक.

३८. घनप्रसरणगुणकाचा लांबीच्या प्रसरण गुणकाशीं संबंध—या ठिकाणीं हीं या प्रसरण गुणकाचा लांबीच्या प्रसरण गुणकाशीं जो संबंध असतो तो दोन रीतींनीं दाखवूं. जरी घन प्रसरणाचा गुणक साक्षात् काढितां येतो, व त्याप्रमाणें काढितात, तरी लांबीच्या प्रसरण गुणकावरून तो काढणें जास्त सोपें आहे; आणि लांबीचा प्रसरणगुणक फारच सोप्या रीतीनें काढितां येतो.

(१) भरींव घन तुकडा घेऊन—असा घन तुकडा आपण घेऊं कीं, त्याचा प्रसृत भाग काढून मापितां येईल. तर हा प्रसृत भाग खालीं दिलेल्या घनफळाच्या तुकड्यांचा असतो, हें सहज दाखवितां येतें.

(१) १ फूट लांब, १ फूट रुंद आणि ग फूट जाड असे तीन चौरस तुकडे असतील; या तिहींचें घनफळ ३×१×१× ग=३×ग घनफूट असेल.

(२) १ फूट लांब ग फूट रुंद आणि ग फूट जाड, असें ३ चिचोळे तुकडे असतील; या तिहींचें घनफळ ३×१×ग×ग=$३ग^{2}$ घनफूट असेल.

(३) ग फूट लांब, ग फूट रुंद, आणि ग फूट जाड असा एक लहान घन तुकडा असेल; याचें घनफळ ग×ग×ग=$ग^{3}$ घनफूट असेल.

ग फार लहान असल्यामुळें त्याचे वर्ग व घन फार लहान असतात, व वर घेतलेल्या तुकड्यांवरूनही असें दिसेल कीं ३ चिचोळे तुकडे व १ घन तुकडा हे फार लहान असतात. यास्तव प्रसरण मापितांना पहिले भाग म्हणजे ज्यांचें घनफळ ३ ग घनफूट आहे, तेवढे घेतले कीं बस आहे.

म्हणून जो तुकडा ०°श वर १ घनफूट असेल तो १°श वर (१+३ ग) घनफूट होईल; किंवा

जर कोणत्याही पदार्थाचा लांबीचा प्रसरणगुणक ग समजला तर त्याच्या घनप्रसरणाचा गुणक ३ ग असेल. हा गुणक ग' या अक्षरानें नेहमीं दर्शवूं.

(२) बीजानें—१ घनफूट चौरस चौरस पदार्थांची प्रत्येक बाजू ०°श वर १ फूट असेल तर १°श वर १ फुटाच्या जागीं १+ग फूट होईल. म्हणून प्रसृत झालेल्या घनपदार्थाचें घनफळ (१+ग)^3 फूट किंवा १+३ग+३ग^2+ग^3 घनफूट होईल. ग फार लहान असल्यामुळें तिसरें व चवथें हीं पदें हिशेबांत धरिलीं नाहीं, तरी मोठीशी चूक होणार नाहीं. म्हणून प्रसरण ३ ग घनफूट होईल. यास्तव भरींव घननमुन्यावरून जें प्रसरण आलें तेवढेंच या रीतीनेंही आलें.

३९. **घनप्रसरणाचें उदाहरण**—पितळेच्या भरींव तुकड्याचें आकारमान ६·२ घन शतांश मात्रा १०°श उष्णमानावर आहे. तर ३०°श वर त्याचें आकारमान काय होईल? पितळेचा लांबीचा प्रसरणगुणक ·०००० १८८ आहे.

घ. श. मा.
१+१० ग' : १—३० ग' : : ६·२ उत्तर.
किंवा १·०००५६४ : ·९९८३०८ : : ६·२ : उत्तर.
∴ उत्तर = $\frac{६·२ \times ·९९८३०८}{१·०००५६४}$ घ. श. मात्रा.

ग = ·०००० १८८
ग' = ३ ग = ·०००० ५६४
१० ग' = ·००० ५६४
∴ १+१० ग' = १·०००५६४
३० ग' = ·०१६९२
∴ १ − ३० ग' = ·९९८३०८

४०. **उदाहरणें सोडवितांना ध्यानांत ठेवण्याच्या गोष्टी**,—घनपदार्थांच्या आकारांत जो फेरफार होतो तो फार थोडा असतो. उष्णतेनें आकार वाढतो, व थंडीनें आकार कमी होतो. या दोन गोष्टी ध्यानांत ठेविल्या म्हणजे उदाहरणें सोडविण्यास साहाय्यभूत होतील, व आरंभीं त्रैराशिक मांडते वेळीं एखादी ठोकळ चूक झाली तर पटकन लक्षांत येईल. भरींव किंवा पोकळ अशा घनपदार्थांच्या प्रसरणाचीं उदाहरणें करण्यास घनप्रसरणाचा गुणक घ्यावा लागतो आणि केवळ लांबी जेथें वाढते व तिजविषयींच जीं उदाहरणें असतात—उदाहरणार्थ वर्तुळाच्या परिघाची लांबी, गोलाचा व्यास, किंवा सरळ गजाची लांबी—ती सोडवितांना लांबीच्या प्रसरणगुणकाचा उपयोग करावा लागतो.

४१. **घनप्रसरणाचा गुणक काढण्याच्या दुसऱ्या रीती**—लांबीच्या प्रसरणगुणकाशीं कांहीं संबंध न ठेवितां घनपदार्थांच्या प्रसरणाचा गुणक काढण्यास द्रव पदार्थांच्या प्रसरणाचा गुणक कसा उपयोगी पडतो, हें द्रवांच्या प्रसरणाचा विचार केल्यावर समजेल.

४२. **दाढर्य आणि प्रसरण**—विवक्षित आकारमानांत कोणत्याही पदार्थाचा जो वजनाचा भाग असेल, त्यावरून त्याचें दाढर्य मापितात.

जेव्हां पदार्थ प्रसरण पावतात, तेव्हां त्यांमधील द्रव्यसमूह व त्याचें वजन यांत फरक पडत नाहीं. परंतु त्यांचा आकार बदलतो; कारण तो पूर्वीपेक्षां आकारानें मोठा किंवा लहान होतो. ह्मणजे तेवढ्याच वजनाचा किंवा द्रव्यसमूहाचा पदार्थ जास्त किंवा कमी आकारमानाचा होतो. म्हणून ज्या प्रमाणानें त्याचें आकारमान वाढलें किंवा कमी झालें असेल, त्याच प्रमाणानें त्याचें दार्ढ्य कमी किंवा जास्त होईल.

याविषयीं एक उदाहरण घेतलें ह्मणजे वरील सिद्धांत स्पष्ट समजेल.

+४०°श वर आणि —१०°श. वर विवक्षित लोखंडाच्या तुकड्याचीं जीं दार्ढ्यें असतील, त्यांची तुलना कर. लोखंडाचा लांबीचा प्रसरणगुणक.००००११९८ आहे.

वरील सिद्धांताप्रमाणें:—

$$\frac{+४०^\circ\text{श वरचें दार्ढ्य}}{-१०^\circ\text{श वरचें दार्ढ्य}} = \frac{-१०^\circ\text{श वरील आकारमान}}{+४०^\circ\text{श वरील आकारमान}}$$

$$= \frac{\cdot९९९६४०६}{१\cdot००३४३७६}$$

ग=.००००११९८
गं=.००००३५९४
१०गं=.०००३५९४
१—१०गं=.९९९६४०६
४०गं=.००१४३७६
१+४०गं=१.००१४३७६

जर $द_{उ१}$ आणि $द_{उ२}$ हीं अक्षरें $उ_१^\circ$ आणि $उ_२^\circ$ या उष्णमानांवरील दार्ढ्यें दर्शविण्यास घेतलीं तर साधारण सारणी अशी होईल:—

$$\frac{द_{उ१}}{द_{उ२}} = \frac{१+उ_२ग}{१+उ_१ग}$$

३२. प्रसरणगुणकांचें कोष्टक—कित्येक पदार्थांचे प्रसरणगुणक खालील कोष्टकांत दिले आहेत.

१° श उष्णमानाचे लांबीचे प्रसरणगुणक.			
सोनें	·००००१५५२	पितळ	·००००१८७८
पोलाद (पाणी दिलेलें)	·००००१०७९	जस्त	·००००२९७०
रुपें	·००००११०९	कथील	·००००२१७२
प्लाटिनम	·०००००८८४	लोखंड (ओतींव) ...	·००००११०९
कांच (गारेची)	·०००००८१२	लोखंड (घडींव).....	·००००११९८
तांबें	·००००१७१७	शिसें................	·००००२९६६

निरनिराळ्या जातींचे धातूंचे तुकडे घेतले तर गुणक भिन्न असतात. यास्तव दुसऱ्या कोष्टकांतील शेवटले दोन आंकडे कदाचित् भिन्न असतील, हें लक्षांत ठेवावें.

प्रकरण २ यावरील प्रश्न व उदाहरणें.

(१) ०°श उष्णमानावर जी वाराची (यार्डाची) लांबी असते ती त्याची खरी लांबी असें समजून वाराचा गज केलेला आहे. तर २०°श उष्णमानावर कांहीं लांबीचें कापड त्या वारानें मोजून घेतलें तर त्यांत किती चूक होईल ?

(२) १६°श उष्णमान असतां एका मनुष्यानें याच वारानें एका मनुष्याची उंची मोजली तेव्हां ती ६ फूट भरली. दुसऱ्या मनुष्यानें १०°श उष्णमानावर दुसऱ्या एकाची उंची मोजली ती ६ फूट उंच भरली. तर दोहोंत अधिक उंच कोण असेल ? उत्तर कारणांसह स्पष्ट करा.

(३) उष्णमान न चढतां जेव्हां उतरतें, तेव्हां समतोल राखणाऱ्या तुलाचक्राचें कार्य कसें घडून समतोलत्व राहतें, हें स्पष्ट करून सांगा.

(४) ब्रेग्वेट याच्या धातुद्वयाच्या केलेल्या उष्णमापकाचा दर्शक कांटा ज्या वर्तुळावर फिरतो, त्या वर्तुळाचे भाग पाडण्यास कसा आरंभ करावा व कसे भाग पाडावे, म्हणजे त्याचा उपयोग साध्या उष्णमापकाच्या जागीं करितां येईल ?

(५) मेहामच्या पाऱ्याच्या आंदोलकांत आंदोलकाचा दांडा ६ फूट लांब आहे. दांडा ज्या द्रव्याचा आहे त्याच्या १२ पट कांचेंत असलेला पारा प्रसरण पावतो. तर कुप्यांत पाऱ्याची उंची किती असावी ?

(६) एका जाळीच्या आंदोलकांत खालच्या बाजूस प्रसरण पावणारे एका धातूचे ३ गज आहेत; आणि वरच्या बाजूस प्रसरण पावणारे दुसऱ्या धातूचे २ गज आहेत. (१० व्या प्रश्नाची टीप पहा) दुसरी धातु पहिल्याच्या दीडपट प्रसरण पावत असेल, आणि पहिल्या धातूच्या गजांची एकंदर लांबी क्ष फूट असेल, तर दुसऱ्या धातूंच्या गजांची लांबी किती असावी ? (या स्थळीं प्रसरण पावणाऱ्या एकंदर लांबीचा विचार कर्तव्य आहे.)

(७) एका विवक्षित धातूचा घनप्रसरणगुणक .०००३२४ आहे. तर त्याचे लांबीचे व क्षेत्राचे प्रसरणगुणक काय असतील ?

(८) एका धातूच्या पत्र्याचा क्षेत्राचा प्रसरणगुणक .००००२३९६ निघाला तर त्याच धातूच्या गजाचा लांबीचा प्रसरणगुणक काय होईल ? व घनप्रसरणगुणक काय होईल ?

(९) एका गजाची ०°श उष्णमानावर लांबी मोजली, ती ३.२१ मात्रा भरली. त्यास ४०° श पर्यंत उष्ण केलें, आणि त्या वेळीं लांबी मोजिली ती ३.२१२३२४ मात्रा भरली. तर त्या द्रव्याचा लांबीचा प्रसरणगुणक काय असेल ?

(१०) तांबें व पोलाद यांचे लांबीचे प्रसरणगुणक .००००१७१७ आणि .००००११४५ अनुक्रमें आहेत. तर असें दाखीव कीं जाळीच्या आंदोलकांत २ तांब्याचे व ३ पोलादी गज असतील, तर त्यांच्या योगानें बहुतेक पूर्ण समतोलन होईल.

(या ठिकाणीं व १६ व्या उदाहरणांत प्रत्येक जातीचे एकंदर गज मिळून एकच गज आहे असें समजावयाचें.)

(११) एका भरींव औरस चौरस घनपदार्थाची कडा ०°श पासून १°श पर्यंत उष्णमान वाढविलें ह्मणजे १ : १.०१ या प्रमाणानें प्रसरण पावते. तर या पदार्थाचा स्थूल मानानें व सूक्ष्म मानानें घनप्रसरणाचा गुणक काढ ?

(१२) तांब्याचा गज ०°श वर १० फूट लांब आहे. त्यास ६०° श पर्यंत उष्ण केलें, तर त्याची लांबी किती वाढेल ? ग=.००००१७.

(१३) ५०० मैल लांबीच्या आगगाडीच्या रूळाच्या लांबींत उन्हाळ्यांत व हिंवाळ्यांत स्थूल मानानें काय अंतर पडेल? दोहों ऋतूंतील उष्णमानांत ३०°श अंतर असतें. रूळाचा लांबीचा प्रसरणगुणक ग=.००००१२ आहे.

(१४) जस्ताच्या १० यार्ड लांबीच्या कांबीचें उष्णमान ०°श. पासून १००°श पर्यंत चढविलें, तेव्हां लांबी १ इंच वाढली. तर जस्ताचा लांबीचा प्रसरणगुणक काढ.

(१५) एक घनयार्ड लोखंडाचें ०°श. पासून २७°श. पर्यंत उष्णमान चढविलें, तर त्याचें प्रसरण किती होईल ? ग=.००००१२.

(१६) एका तांब्याच्या पत्र्याचें क्षेत्र ०°श वर ३ चौरसफूट आहे. त्याचें उष्णमान ३००° श पर्यंत वाढविलें, तर त्याचें क्षेत्र किती वाढेल ? ग=.००००१७.

(१७) एका ओतींव लोखंडाच्या कांबीची लांबी १८°श उष्णमानावर ५ फूट आहे. तर १००° श उष्णमानावर किती लांबी होईल ? ग=.००००११२५.

(१८) एका ओतींव लोखंडी पत्र्याचें क्षेत्र १०°श वर १० चौरसफूट आहे तर २०°श वर आणि ०°श वर अनुक्रमें किती क्षेत्र असेल ?

लांबीचा प्रसरणगुणक ग=·००००११२५.

(१९) एका कांचेच्या पात्राची आंतील पोकळी ०°श. वर १००० घन शतांश मात्रा आहे. तर १००° श वर किती असेल? कांचेचा लांबीचा प्ररणकगुणक ग=·००००००८८.

(२०) एका पदार्थाचें १६°श वर आकारमान १ घनफूट असेल, तर—१८°श वर आणि +३१° श वर अनुक्रमें किती असेल ? लांबीचा प्रसरणगु० ग= .००००८८.

(२१) ०°श वर शिशाचें विशिष्टगुरुत्व (दार्ढ्य) ११·३५आहे, तर—१००°श वर त्याचें विशिष्टगुरुत्व किती असेल? घनप्रसरणगुणक गं=·००००८८

(२२) कायदेशीर वार हा ६२°फा. उष्णमानावर एका विवक्षित पितळेच्या गजाच्या लांबीबरोबर आहे. एका प्लाटिनमच्या गजाची लांबी ७२° फा. वर त्यानें मोजिली ती ३५·९९८ इंच भरली. १°फा. करितां पितळ आणि प्लाटिनम यांचे प्रसरणगुणक अनुक्रमें ·००००१ आणि ·०००००४८ आहेत. तर प्लाटिनमच्या कांबीची ६२°फा. उष्णमानावर बरोबर लांबी किती असेल ?

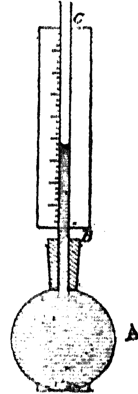
प्रकरण ३.

द्रवरूपी पदार्थांचें प्रसरण.

४४. **हें प्रसरण पाहण्याची अडचण**—घनपदार्थांच्या प्रसरणाप्रमाणें द्रवरूपी पदार्थांचें प्रसरण पाहणें व मापणें सोपें नाहीं, हें आपल्या एकदम लक्षांत येतें. कारण घनपदार्थाचा एक तुकडा घेऊन त्याचें प्रसरण आपणास सहज मापितां येतें परंतु त्याप्रमाणें द्रवरूपी पदार्थाचा आपणास तुकडा घेतां येत नाहीं. कोणत्या तरी भांड्यांत आपणास द्रव घेणें भाग पडतें, आणि द्रवाबरोबर भांडेंही प्रसरण पावून गोंधळ होतो.

कुपीचें प्रसरण व आकुंचन यानें त्यांतील द्रवाचें प्रसरण व आकुंचन यांचें स्वरूप भलतें कसें बदलून जातें, हें सहज दाखवितां येतें.

प्रयोग—A हा लांब मानेचा कांचेचा चंबू रंगीत पाण्यानें भरलेला आहे. B हें त्याच्या तोंडावर बसणारें रबराचें बूच आहे, व त्यांत BC ही नळी बसविलेली आहे; व नळीस भाग पाडलेली कागदाची जाड पट्टी जोडलेली आहे. द्रवानें सर्व चंबू भरून नळीचा कांहीं भाग भरलेला आहे. (आ. २५ पहा) आतां खालीं लिहिल्याप्रमाणें कृति करावी:—



(१) चंबू दिव्याच्या ज्योतींत एकाएकीं भरून त्यास असें उष्ण करावें कीं, चंबू मात्र उष्ण व्हावा, परंतु द्रव उष्ण होऊं नये.

(२) नंतर चंबूस एकसारखें ज्योतीवर भरून चंबू व द्रव या दोहोंस उष्ण करावें.

(३) चंबूवर थंड पाणी मारून चंबूस मात्र शीत करावें. द्रवास करूं नये.

(४) सर्व चंबू थंड पाण्यांत बुडवून दोहोंसही शीत करावें. आकृति २५ वी.

द्रवाचें प्रत्येक वेळीं नळींत चढणें व उतरणें यांचें कारण सहज सांगतां येतें.

४५. **दृश्य व खरें प्रसरण**—द्रवाचें जें प्रसरण वरील प्रयोगांत दृष्टीस पडतें, तें त्याचें केवळ खरें प्रसरण नसतें; परंतु द्रव आणि भांडें या दोहोंच्या प्रसरणापासून जो द्रवाच्या आकारांत बाह्यात्कारी फेरफार होतो, तो मात्र दिसतो.

जर वरील प्रयोग चांगला समजला असेल तर असें स्पष्ट होईल कीं—

द्रवाचें केवळ प्रसरण = त्याचें दृश्यप्रसरण + भांड्याचें प्रसरण.

कारण भांडें प्रसरण पावल्यामुळें भांड्यांत जो जास्त अवकाश झाला, तो अवकाश द्रव प्रथम व्यापितो आणि नंतर द्रव नळींत चढतो, व तें दृश्य प्रसरण दिसतें.

४६. **केवळ आणि दृश्य प्रसरणगुणक**—द्रवाचा केवळ प्रसरणगुणक दर्शविण्यास क अक्षर घेऊं. पूर्वी व्याख्या केल्याप्रमाणें भांड्याचा प्रसरणगुणक दर्शविण्यास ग अक्षर घेऊं. आणि द्रवाचा दृश्य प्रसरणगुणक दर्शविण्यास द अक्षर घेऊं. याचा अर्थ उघड असा आहे कीं, जर आपल्या जवळ १ घनफूट अवकाशाचें भांडें ०°श उष्णमानाच्या पाण्यानें भरलेलें असेल, आणि त्यास १°श पर्यंत उष्ण केलें, तर त्यांतून १ घनफुटाचा जितका भाग पाणी बाहेर जाईल, तो अंश द या अक्षरानें दर्शविला जातो.

म्हणून हा साधा संबंध खालीं लिहिल्याप्रमाणें दाखवितां येतो.

द=क—ग; किंवा क=द+ग.

ह्मणून जर क > ग, तर द धन असेल, आणि जर क=ग असेल तर द शून्य असेल आणि जर क < ग तर द ऋण असेल.

याचा अर्थ असा आहे कीं भांड्याहून जर द्रव जास्त प्रसरण पावला तर तो भांड्यांतून बाहेर पडेल; भांड्या इतकाच द्रव प्रसरण पावला तर मुळींच बाहेर पडणार नाहीं; आणि भांड्याहून जर द्रवाचें प्रसरण कमी असेल तर द्रव उतरेल म्हणजे भांड्यांत कांहीं जागा रिकामी राहील.

जर ग हा भांड्याचा लांबीचा प्रसरणगुणक दिला असेल, तर आपणास वरील सारणी अशी लिहिली पाहिजे.

द=क—३ ग.

भांड्यांतील द्रव किती बाहेर पडतो, किंवा त्या वर केलेल्या विवक्षित खुणेच्या वर किती चढतो, हें काढण्याविषयींच्या सर्व प्रश्नांत भांड्यांतील द्रवाचें दृश्य प्रसरण मात्र आपण काढीत असतो; आणि साधारण घनप्रसरणाच्या उदाहरणाप्रमाणेंच याचींही उदाहरणें आपणांस करतां येतात. मात्र द्रवाच्या दृश्य प्रसरणगुणकाचा उपयोग करावा लागतो. भांड्याचें प्रसरण व द्रवाचें प्रसरण अशीं दोन्ही वेगळीं वेगळीं काढून, त्यांची वजाबाकी करणें हें वास्तविक बरोबर आहे. परंतु हें जास्त त्रासदायक आहे. कारण अशा रीतीनें क—ग किंवा द यांच्या बदला क आणि ग यांचे वेगळे उपयोग करावे लागतील.

४७. **दृश्य प्रसरणाचीं उदाहरणें**—दृश्य प्रसरणाचीं कांहीं उदाहरणें आपण सोडवूं.

(१) एका द्रवाचा केवल प्रसरणगुणक ·०००१२८ आहे, असें माहीत आहे. एका प्रकारच्या कांचेचा लांबीचा प्रसरणगुणक ·००००११२३ आहे. या कांचेच्या भांड्यांत असलेल्या या द्रवाचा दृश्यप्रसरण गुणक काय असेल?

उ. द=क—३ ग

=·०००१२८—·००००३३६९=·००००९४३१.

(२) एक ३ लिटर अवकाशाचें कांचेचें भांडें ०°श उष्णमानाच्या द्रवानें अगदीं भरलें आहे. तें भांडें ज्या खोलीचें उष्णमान २०°श आहे अशा खोलींत

ठेविलें तर किती द्रव बाहेर वाहून जाईल? आणि याचा आकार १५°श उष्णमानावर किती होईल? कांचेचा घनप्रसरणगुणक ·०००२७६१ आणि द्रवाचा ·०००१८६ आहेत.

पहिलें उत्तर काढते वेळीं दृश्य प्रसरणच घेतलें पाहिजे. ह्मणून

१ : २०द : : ३ लि. : उत्तर. २०द हें एक लिटरचें प्रसरण होईल. आतां द=क—ग=·०००१८६—·००००२७६१=·०००१५८३९· ह्मणून २०द= ·००३१६७८.

ह्मणून १ : ·००३१६७८ : : ३ लिटर : उत्तर.

∴ उत्तर=·००९५०३४ लिटर.

दुसरें उत्तर काढण्यास द्रवाचें केवळ प्रसरण घेतलें पाहिजे. या स्थळीं २०°श वर किती द्रव बाहेर वाहून जाईल, हें काढल्यावर त्या द्रवाचें आकारमान १५°श वर किती असेल हें काढणें आहे.

∴ १+२० क : १+१५ क : : ·००९५०३४ : ली. उत्तर.

किंवा १·००३७२ : १·००२७९ : : ·००९५०३४ : उत्तर.

$$\therefore \text{ उत्तर} = \frac{\cdot००९५०३४\times१\cdot००२७९}{१\cdot००३७२}$$

इत्यादि.

क=·०००१८६
२० क=·००३७२
१+२० क=१·००३७२
१५ क=·००२७९
१+१५ क=१·००२७९

४८. ***पाऱ्याचें साधें उष्णमापक**—साध्या उष्णमापकांत कांचेमध्यें पारा प्रसरण पावतो. उष्णमापक हें त्याच्या फुग्यापासून थिजण्याच्या बिंदूपर्यंत ०°श उष्णमानाच्या पाऱ्यानें भरलेलें भांडें आहे, असें आपणास म्हणतां येईल. जेव्हां त्यास आपण उष्ण करूं, तेव्हां कांहीं पारा थिजण्याच्या बिंदूच्यावर चढेल आणि जेव्हां शीत करूं, तेव्हां थिजण्याच्या बिंदूखालीं पारा उतरेल, व त्या बिंदूखालीं कांहीं जागा रिकामी होईल. नेहमीं दृश्य प्रसरण व आकुंचन यांनींच उष्णमान दर्शवितात.

उष्णमापकाविषयीं आणखीं एक गोष्ट लक्षांत ठेविली पाहिजे. कारण तेणेंकरून उष्णमापकावरील अंश पाहून जें उष्णमान प्रत्यक्ष आपणास समजतें, तें वास्तवीक काय आहे, हें स्पष्ट समजेल. उष्णमान वाढलें म्हणजे उष्णमापकांतील पारा कांहीं अंश चढत जातो. परंतु या स्थळीं अंशही प्रसरण पावत असतात; म्हणून १०°श पासून २०°श पर्यंत उष्णमान दर्शविण्यास जितका पारा लागतो, त्याहून ५०°श पासून ६०°श. पर्यंत चढलेलें उष्णमान दर्शविण्यास जास्त पारा लागतो. २०°श उष्णमानावर १०°श ची जितकी पोकळी असते, त्याहून ६०°श उष्णमानावर तितक्या अंशांची पोकळी जास्त असते.

तथापि व्यवहारांत सर्व उष्णमानावर अंश सारख्याच आकारमानाचे असतात,

* प्रकरण ३ याची पुरवणी ड पहा.

असें आपण समजतों. कारण ०°श पासून १°श पर्यंत उष्णमान चढल्यास अंशाचा $\frac{२७}{१०,००,०००}$ किंवा $\frac{१}{४०,०००}$ वा भाग मात्र एक अंश प्रसरण पावेल. म्हणून अंशाचें प्रसरण फारच थोडें असतें. $\frac{१}{१०}$ हून लहान अंशाचे भाग आपण उष्णमापकानें क्वचितच मोजतों. म्हणून या प्रसरणाचा मुळींच विचार केला नाहीं, तरी हरकत नाहीं हें स्पष्ट आहे.

४९. **गुरुत्व उष्णमापक**—दुसऱ्या एका प्रकारचें उष्णमापक असतें, त्याची रचना आतां आपणास समजेल. याचें कार्य पाऱ्याच्या साध्या उष्णमापकासारखेंच होतें. परंतु थिजण्याच्या बिंदूपाशीं जणूं काय हें उष्णमापक कापलेलें असून, जेव्हां उष्णमान चढतें तेव्हां जो पारा बाहेर पडतो, तो गोळा करून त्याचें वजन आपण करितों; आणि १००°श पर्यंत उष्णमान चढविलें असतां जो पारा बाहेर पडतो, त्या पाऱ्याशीं याची तुलना करितों.

मोठ्या भोंकाच्या व साधारण पातळ कांचेच्या नळीच्या तुकड्याचें हें उष्णमापक केलेलें असतें. या नळीचें एक तोंड बंद करून गोल करितात; दुसरें तोंड बारीक करून लांब ओढितात, व तो बारीक भाग (आ. २६ पहा) आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें A C D आकाराचा वांकवितात. D हें तोंड अति सूक्ष्म अशा बिंदूसारखें असतें.

नंतर उष्णमापकाच्या नळींत ज्याप्रमाणें पारा भरतात, त्या प्रमाणेंच जपून यांत पारा भरतात. उष्णमापकाच्या नळीच्या वरच्या तोंडाजवळ हवा नळींत जाऊं नये म्हणून जो फुगा केला होता (पृ. ७ पहा) तसा फुगा न करितां नळीचें D तोंड E F या लहान भांड्यांतील पाऱ्यांत बुडवितात. म्हणून नळींतील हवा बाहेर घालविली, म्हणजे पाऱ्याशिवाय दुसरें कांहीं आंत जाऊं शकत नाहीं.

आ० २६ वी.

नळी भरली म्हणजे साध्या उष्णमापकावरील स्थिर बिंदु काढण्याकरितां जी कृति आपण करितों, त्या सारखीच कृति आपणास येथें करावी लागते. म्हणजे ०°श. उष्णमानावर आणि १००°श उष्णमानावर या नळींत पारा किती वजनाचा राहतो, हें काढावें लागतें.

याकरितां तोंड पाऱ्यांत बुडतें ठेवून सर्व उष्णमापकासभोंवतीं वितळणारें बर्फ ठेवितों.

याप्रमाणें ०°श उष्णमानावर उष्णमापक भरलें म्हणजे E F भांड्यांतील पारा ओतून त्यास रिकामें करितों.

आतां उष्णमापकास बर्फांतून काढून त्याचें, E F भांड्याचें, उष्णमापकांतील पाऱ्याचें, आणि E F भांड्यांत जो पारा आंतां बाहेर आला असेल त्याचें वजन करितों.

या सर्व वजनांतून रिकाम्या उष्णमापकाचें व रिकाम्या E F भांड्याचें अशीं पूर्वीं काढलेलीं वजनें वजा केलीं म्हणजे बाकीचें वजन ०°श उष्णमानावर उष्णमापकांत जो पारा राहतो त्याचें वजन होईल.

नंतर उष्णमापकाचें उष्णमान १००°श होईपर्यंत त्यास उष्ण करितों, आणि जो पारा बाहेर पडेल त्याचेंही वजन करितों. आतां जर दुसरें कोणतेंही उष्णमान पाहावयाचें असलें, तर ०°श उष्णमानापासून माहीत नसलेल्या उ° उष्णमानापर्यंत उष्णमान वाढविल्यानें किती पारा बाहेर जातो त्याचें वजन आपणास काढितां येतें.

वरील काढलेल्या वजनावरून योग्य सारणीचा उपयोग करून हें उष्णमान काढितां येतें. गुरुत्वउष्णमापकाविषयीं आतां येथें जास्त सांगत नाहीं. येथें एवढेंच सांगणें बस आहे कीं, साधे उष्णमापक व गुरुत्वउष्णमापक चांगलीं केलेलीं असलीं तर दोहोंपासून सारखींच उष्णमानें समजतात. (पुरवणी पहा).

भांड्याचें प्रसरण मनांत न आणितां पाऱ्याचा केवल प्रसरणगुणक काढण्याची रेग्नाल्टची रीति.

५०. उपोद्घात—भांड्याचें प्रसरण व द्रवाचें प्रसरण यांचा परस्पर किती निकट संबंध आहे, हें पूर्णपणें दाखविलें. भांड्याचें प्रसरण माहीत नसतां द्रवाचें केवल किंवा वास्तविक प्रसरण काढण्याची जी एक रीति आहे, तिजविषयीं आतां विचार करूं.

परंतु ही रीति समजण्यास द्रवांच्या धर्मांविषयीं थोडेसें ज्ञान असावें लागतें. म्हणून जलस्थितिशास्त्राचीं म्हणजे प्रवाही शास्त्राचीं कांहीं मूलतत्वें प्रथमत: सांगूं. आपणास असें आढळेल कीं, समतोलत्वाविषयीं द्रवांच्या आंगीं असे कांहीं विशेष धर्म आहेत कीं, ज्या भांड्यांत द्रव असतात, त्यांच्या आकाराशीं त्या धर्मांचा कांहीं संबंध नसतो; भांड्याचें प्रसरण मनांत न आणितां द्रवाचें प्रसरण कसें काढावें, हा प्रस्तुतचा प्रश्न त्या धर्मांवरून सोडवितां येतो.

५१. **पाणी आपल्या पानसळींत राहतें**—द्रवाविषयीं हा जो सर्व प्रसिद्ध सिद्धांत आहे, त्याचा अर्थ काय याचा प्रथम विचार करूं. या सिद्धांताची शिरोभागीं लिहिल्याप्रमाणें नेहमीं व्याख्या करितात. परंतु त्यावरून त्यानें बरोबर स्वरूप लक्षांत येत नाहीं. "पाणी नेहमी आपल्या पानसळींत राहतें," यांतील पानसळ याचा अर्थ काय?

याचीं कांहीं उदाहरणें घेऊन पानसळीविषयींची कल्पना स्पष्ट करितां येईल. शहरापासून दूर अंतरावर मोठा तलाव करून त्यांतील पाणी नळांनीं शहरांत आणिलें असेल, तर आपल्या घरांतील नळांत किती उंच पाणी चढतें? सर्वांस हें माहीत आहे कीं, तळ्यांतील पाण्याच्या पानसळीइतकें नळांत पाणी चढतें. त्याहून उंच चढत नाहीं, व कमीही चढत नाहीं. नळाच्या मानानें तळ्याचा फार मोठा आकार असतो, तरी त्यामुळें कांहीं अंतर पडत नाहीं. यासारखीं दुसरींही उदाहरणें देतां येतील. परंतु हें एकच उदाहरण हा सिद्धांत समजण्यास बस होईल. याच्या कारणाविषयीं येथें आपण विचार करणार नाहीं, परंतु याचा खरेपणा प्रत्यक्ष प्रयोगानें आपणास सिद्ध करून दाखवितां येईल.

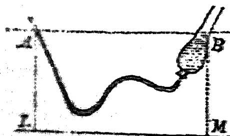
सर्वत्र समान अशा राढ्याचा पाणी किंवा दुसरा कोणताही द्रव एकमेकांत खेळेल अशा एकमेकांशीं जोडलेल्या कोणत्याही आकाराच्या अनेक भांड्यांत घातला, तर तो सर्व भांड्यांत सारख्या उंचीवर राहील.

जेव्हां द्रवांनीं आच्छादिलेलीं क्षेत्रें लहान असून तशा लहान क्षेत्रांविषयींच विचार करूं, तेव्हां क्षितिजपातळीशीं समांतर अशा द्रवाच्या पृष्ठभागावर लंबोत्तर अशा सारख्या उंचीवर असा अर्थ सारख्या उंचीचा समजावयाचा आहे. वास्तविक ह्मणजे द्रवांचे पृष्ठभाग पृथ्वीच्या मध्यापासून सारख्या अंतरावर असतात. सागरासारख्या मोठ्या पृष्ठभागाविषयीं विचार करितांना मात्र त्याच्या पृष्ठभागाचें अंतर भूमध्यापासून मापावें लागतें.

टीप—अगदीं लहान भांडें ह्मणजे निदान $\frac{1}{2}$ इंच रुंदीचें असतें, असें नेहमीं समजूं. याहून अरुंद तोंडाचीं भांडीं घेतलीं तर त्यांत केशाकर्षणाचें कार्य घडून वरील नियमास अपवादक होतें. जेव्हां द्रवानें भांडें भिजतें किंवा द्रव भांड्यास चिकटतो (पाणी चिकटतें, किंवा लागतें त्याप्रमाणें) तेव्हां पुढील परिणाम दृष्टीस पडतात. अगदीं बारीक भोंकाच्या नळ्या किंवा अगदीं जवळ असलेले दोन कांचेचे पत्रे पाण्यांत बुडविले तर नळींत व कांचेच्या पत्र्यांमध्यें पाणी भांड्यांतील पृष्ठभागावर चढेल. हें चढण्याचें मान भिन्न भिन्न असेल. अगदीं केंसासारख्या बारीक भोंकाच्या नळींत पाणी फार उंच चढेल. याकरितां जर दोन बारीक भोंकांच्या नळ्यांस परस्पर जोडिलें, व त्यांपैकीं एक दुसरीपेक्षां बारीक असली, तर दोहों नळ्यांत पाणी सारख्या उंचीवर असणार नाहीं. अधिक बारीक नळींत जास्त उंचीवर चढेल. परंतु जो द्रव भांड्यास चिकटत नसेल, किंवा लागत नसेल, (उदाहरणार्थ पारा कांचेस लागत नाहीं.) तो द्रव भांड्यांतील द्रवाच्या पृष्ठभागापेक्षां नळींत खालीं राहतो, व जशी नळी अधिक बारीक असेल, त्याप्रमाणें तो जास्त खालीं जातो. ह्मणून जर दोन बारीक पण भिन्न भिन्न पोकळीच्या नळ्यांस जोडिलें व त्यांत पारा भरिला, तर अधिक बारीक भोंकाच्या नळींत पारा जास्त खोल जाईल.

ज्या नळ्यांचीं भोंकें $\frac{1}{2}$ इंचाहून जास्त मोठीं असतात, त्यांत जें केशाकर्षणाचें कार्य घडतें, तें फार थोडें असतें, व तें मनांत न आणिलें तरी चालतें. म्हणून आपली नळी वरील प्रयोगांत $\frac{1}{2}$ इंचाहून कमी व्यासाची असूं नये.

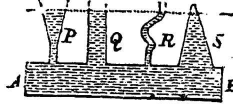
प्रयोग—(१) दिव्याच्या रुंद चिमणीस कांचेची बारीक नळी रबराच्या नळीनें जोडली, व तींत पाणी ओतलें, आणि टेबलाच्या पृष्ठभागावर दोहोंचीं तोंडें वर करून ठेविल्यास दोहोंत सारख्या उंचीवर पाणी राहील. (आकृति २७ पहा).



आकृति २७ वी.

आकृतींत A B आणि L M या क्षितिज पातळीशीं समांतर अशा रेषा आहेत. तर A L आणि B M यांच्या उंच्या समान असतील.

(२) A B या पेटीच्या झांकणावर P, Q, R, S या अनेक आकाराच्या नळ्या मळसूत्रानें गच्च बसविल्या, व पाणी बाहेर न पडण्या जोगें झांकण गच्च असलें, तर त्यांत पाणी ओतल्यास सर्व नळ्यांत पाणी सारख्या उंचीवर राहील. (आकृति २८ पहा.)

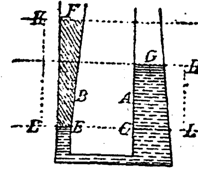


आकृति २८ वी.

एकमेकांस जोडलेल्या भांड्यांत पाणी समतोल कसें राहतें, याविषयीं द्रवांचा एक साधा धर्म आपणास समजला. यांतील मुख्य तत्त्व हें लक्षांत ठेविलें पाहिजे कीं, भांड्याचा आकार कसाही असला तरी द्रवाची उंची सारखी असते. म्हणजे उंचीचा भांड्याच्या आकाराशीं संबंध नसतो.

याहून साधा असा एक प्रयोग करूं. यावरून पाण्याचा केवल प्रसरणगुणक काढण्यास रेनाल्ट यानें जे प्रयोग केले, त्यांत ज्या रीतीचा उपयोग त्यानें केला होता, ती रीति समजण्यास जास्त सहाय्य होईल.

५२. एकमेकांस जोडलेल्या भांड्यांत भिन्न भिन्न दाढ्यांच्या द्रवांचें समतोलन—A, B हीं दोन भांडीं हव्यात्या आकाराचीं आहेत. यांचीं बुडें एका नळीनें परस्परांस जोडलीं आहेत. यांत जास्त दाढ्याचा म्हणजे जड द्रव प्रथमतः ओतूं. तो दोहीं भांड्यांत सारख्या उंचीवर चढेल. नंतर हलका द्रव B भांड्यांत ओतूं. तो जड द्रवावर राहील, आणि अखेरीस आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें कांहीं-सें त्यांचें समतोलन होईल. (आकृति २९ पहा).



आकृति २९ वी.

आतां द्रवांचीं दाढ्यें व त्यांच्या निरनिराळ्या उंच्या यांमध्यें काय संबंध असतो, याविषयींचा नियम समजण्याची आपणास अपेक्षा आहे. प्रयोगद्वारा हा सिद्धांत समजण्याची जी रीति आहे, तिजविषयीं मात्र या पुस्तकांत विचार केला आहे.

मागील कलमांत जें सांगितलें आहे त्यावरून आपण पाहिलें कीं, द्रवांचें समतोलन क्षितिजपातळीवर ज्या त्यांच्या उंच्या असतील त्यांवर अवलंबून असतें.

ज्या E बिंदुस्थळीं दोन्ही द्रव मिळतात, त्या बिंदूंतून व F आणि G हीं जीं हलक्या व जड द्रवांच्या स्तंभांचीं शिखरें त्यांतून L′ E L, KF, आणि GH, क्षितिज पातळीशीं समांतर अशा रेषा काढाव्या.

मागील कलमावरून हें आपणास माहीत आहे कीं, L′L पातळीखालचा द्रव समतोल आहे. यास्तव याचा विचार करण्याची आपणास जरूरी नाहीं.

EF आणि CG या स्तंभांचा विचार करण्यास आपणास त्याच्या लंबोत्तर उंच्या KL व HL मापिल्या पाहिजेत, हें उघड आहे.

A आणि B या भिन्न भिन्न आकारांच्या कोणत्याही भांड्यांत हेच द्रव घातले आणि त्यांच्या उंच्या मोजल्या, तर नेहमीं तेच द्रव असल्यास $\frac{KL'}{HL}$ हें प्रमाण त्यांच्या उंच्यांमध्यें नित्य असतें, असें आढळेल.

आणखी आपणास असें समजेल कीं,

$$\frac{\text{KL}'}{\text{HL}} = \frac{\text{A भांड्यांतील द्रवाचें दार्ढ्य.}}{\text{B भांड्यांतील द्रवाचें दार्ढ्य.}}$$

किंवा.

$$\frac{\text{साधारण पातळीवरील B मधील द्रवाची उंची}}{\text{साधारण पातळीवरील A मधील द्रवाची उंची}} = \frac{\text{A मधील द्रवाचें दार्ढ्य.}}{\text{B भांड्यांतील द्रवाचें दार्ढ्य.}}$$

प्रयोगावरून हा जो नियम निघाला, तो खालीं आहे त्याप्रमाणें लिहिल्यास सहज ध्यानांत येईल.

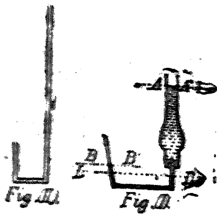
" एकमेकांस जोडलेल्या अशा भांड्यांत भिन्न भिन्न दार्ढ्यांचे द्रव समतोल असले, तर साधारण पातळीवरील प्रत्येकाची उंची त्याच्या हलकेपणाच्या प्रमाणांत असते; किंवा ती त्याच्या दार्ढ्याच्या व्युत्क्रम प्रमाणांत असते. "

या नियमाचा भांड्याच्या आकाराशीं कोणताही संबंध नसतो; म्हणजे द्रवाच्या उंचीचा भांड्याच्या आकाराशीं कांहीं संबंध नसतो; हें चांगलें लक्षांत ठेविलें पाहिजे.

टीप—या पुस्तकांत उष्णताशास्त्राचीं केवळ मूलतत्त्वें सांगण्याचा उद्देश असल्यामुळें द्रवांच्या समतोलनाविषयीं केवळ प्रयोगावरून जे नियम निघाले, तेवढेच सांगितले आहेत. यांच्या उपपत्तीवरून यांचें स्पष्टीकरण करितां येतें, व द्रवांच्या उंच्याही सांगतां येतात. परंतु ती उपपत्ति सांगणें या पुस्तकाच्या उद्देशाच्या बाहेरील गोष्ट आहे, यास्तव सांगितली नाहीं.

प्रयोग—या सिद्धांताचा खरेपणा दाखविण्यास अनेक प्रयोग करितां येतात. त्यांपैकीं येथें एक प्रयोग देतों.

बाजूच्या पहिल्या आकृतींत (आ. ३० पहा.) दिव्यावरची चिमणी एका लहान बारीक भोंकाच्या नळीस जोडलेली दाखविली आहे. यांत प्रथम थोडा पारा ओतावा, आणि नंतर जास्त उंच असलेल्या भांड्यांत म्हणजे चिमणींत पाणी ओतावें.



आकृति ३० वी.

यांच्या साधारण पातळींतून, पाऱ्याच्या पृष्ठभागांतून व पाण्याच्या पृष्ठभागांतून LL′, BB′, आणि AA′ या क्षितिजपातळीशीं समांतर अशा रेषा काढाव्या. नंतर BB′ आणि LL′ यांमधील आणि AA′ आणि LL′ यांमधील अंतरें मोजावीं. पहिलें अंतर उ या अक्षरानें व दुसरें अंतर उं या अक्षरानें दर्शवूं.

तर वरील सिद्धांत खरा असल्यास या दोहोंमध्यें असा संबंध असला पाहिजे.

$$\frac{\text{उ}}{\text{उं}} = \frac{\text{पाण्याचें दार्ढ्य}}{\text{पाऱ्याचें दार्ढ्य}}$$

या ठिकाणीं $\frac{\text{उ}}{\text{उं}} = \text{१३}$ हें प्रमाण स्थूल मानानें असतें असें आढळेल.

हाच प्रयोग दुसऱ्या आकृतींत दाखविल्या सारख्या एका वांकविलेल्या बारीक नळींत करून या नियमाची सत्यता पाहावी. (आ० ३१ पाहा.)

तर त्यांतही $\frac{उ}{उ}$ = $\frac{१}{१३}$ हेंच प्रमाण आहे, असें अनुभवास येईल.

दुसऱ्या रीतीनें दोहोंचीं दाळें मापिल्यावरून आपणास माहीत आहे, कीं,

$$\frac{\text{पाण्याचें दाळें}}{\text{पाऱ्याचें दाळें}} = \frac{१}{१३} \text{ (स्थूलमानानें)}$$

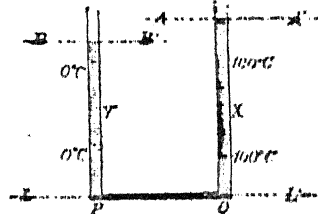
यास्तव या रीतीनें द्रवांच्या दाळ्यांची तुलना केली तर त्यांचा भांड्याच्या आकाराशीं कांहीं संबंध नसून सिद्धांत खरा आहे, असें या प्रयोगावरूनही स्थापित झालें.

५३. प्रसरण मापण्यास याचा उपयोग—दोन भिन्न द्रव न घेतां परस्परांस जोडलेल्या अशा दोन भांड्यांपैकीं एका भांड्यांत थंड द्रव घेतला व दुसऱ्यांत उष्ण घेतला तर त्यांच्याही दाळ्यांची आपणास तुलना करितां येईल, हें उघड आहे. भांड्याचें प्रसरण होऊन त्याचा आकार वाढला तरी त्यामुळें त्यांच्या उंचांवरून वरील रीतीनें त्यांच्या दाळ्यांची तुलना करण्यास कांहीं अडचण येणार नाहीं.

ज्या मानानें द्रव प्रसरण पावतो, त्या मानानें त्याचें दाळें कमी होतें. म्हणून वास्तविक दाळें मोजतांना द्रव किती प्रसरण पावला आहे, हेंच आपण मापितों.

पाऱ्याचा केवलप्रसरणगुणक काढण्याची जी रेग्नाल्टची रीति तिचें हेंच तत्व आहे. या प्रयोगाचें याहून अधिक स्पष्ट रीतीनें आपण वर्णन करूं.

X आणि Y या दोन नळ्या केशाकृति बारीक भोंकाच्या आडव्या P Q नळीनें जोडलेल्या आहेत. आपण असें समजूं कीं X आणि Y या नळ्या लंब आहेत, व P Q केशाकृति नळी आडवी क्षितिज पातळीशीं समांतर आहे. X नळीच्या सभोंवतीं एक पत्र्याचें पेनपात्र गच्च बसवून व त्यांत पाण्याची वाफ सोडून तिचें उष्णमान १००° श. ठेवूं; आणि Y नळीच्या सभोंवतीं असेंच एक पेनपात्र बसवून त्यांत बर्फाचा चुरा भरून तिचें उष्णमान ०° श. ठेवूं. (आ. ३१ पहा.)



आकृति ३१ वी.

नंतर L L या साधारण पातळीवरील X नळींतील उष्ण पाऱ्याच्या AA' पृष्ठभागाची उंची उं मोजूं. व त्याचप्रमाणें LL' पातळीवरील Y नळींतील थंड पाऱ्याच्या BB' पृष्ठभागाची उंची उ मोजूं. तर—

$$\frac{उं}{उ} = \frac{\text{०° श. वरील Y मधील पाऱ्याचें दाढ्यें.}}{\text{१००° श. वरील X मधील पाऱ्याचें दाढ्यें.}}$$

परंतु जर ग हा पाऱ्याचा केवलप्रसरणगुणक आहे, असें कल्पिलें, तर ०° श.

उष्णमानाच्या १ घनइंच पाऱ्याचें १००°श. पर्यंत उष्णमान चढविलें तर त्याचा आकार (१+१०० ग) घनइंच होईल.

म्हणून X मधील उष्ण पाऱ्याच्या दाढ्यीच्या (१+१०० ग) पट Y मधील थंड पाऱ्याचें दार्ढ्य असेल,

$$\therefore \frac{\text{Y मधील पाऱ्याचें दार्ढ्य}}{\text{X मधील पाऱ्याचें दार्ढ्य}} = \frac{१+१००\text{ग}}{१}$$

$$\therefore \frac{\text{उं}}{\text{उ}} = \frac{१+१०० \text{ ग}}{१}$$

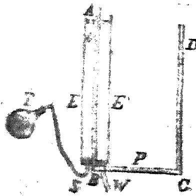
$$\text{किंवा } \frac{\text{उं}-\text{उ}}{\text{उ}} = \frac{१०० \text{ ग}}{१}$$

$$१००\text{ग} = \frac{\text{उं}-\text{उ}}{\text{उ}}$$

$$\therefore \text{ग} = \frac{\text{उं}-\text{उ}}{१००\text{उ}}$$

यावरून भांड्याच्या प्रसरणाचा विचार न करितां उ आणि उं या उंचा मात्र मोजून आपणास पाऱ्याचा केवलप्रसरणगुणक काढितां येतो.

प्रयोग—पुढील प्रयोगावरून रेग्नाल्टनी वांकड्या नळीनें द्रवरूपी पदार्थाचा केवलप्रसरणगुणक काढण्याची रीति साधारण मानानें लक्षांत येईल. A B C D ही एक काटकोनाकार वांकविलेली नळी आहे. तिजमध्यें टरपेंटाइनचा अर्क थोडासा ओतला आहे. हा द्रव फार प्रसरण पावणारा असून त्याचा कढण्याचा बिंदुही पाण्याहून जास्त आहे. म्हणून आपल्या प्रयोगास हा योग्य पदार्थ आहे. (आकृति ३२ पहा.)



आकृति ३२ वी.

B C हा आडवा भाग केशाकृति नाहीं; तथापि कमसमाच्या हवाच्या गोळ्या त्या ठिकाणीं सोडून उष्ण व थंड द्रव मिसळूं नये, परंतु दोहीं नळ्यांतील द्रवांच्या स्तंभांचें समतोलन व्हावें, अशी योजना केलेली आहे.

E E ही एक थोरली कांचेची नळी असून वांकड्या नळीच्या A B भागासभोंवतीं बुचाच्या योगानें बसविली आहे.

T हें कढत्या पाण्याचें भांडें आहे, व त्यांतून वाफ E E नळींत S या नळीनें शिरून A B भागा सभोंवतीं खेळून त्याचें उष्णमान १००°श. वर चढवीत आहे.

येथें वाफ थिजून जें पाणी होतें, तें W नळीनें बाहेर जातें, व थोरल्या नळीच्या माथ्यावरील O या भोंकांतून वाफ वर जात आहे.

जेव्हां A B नळीस वाफेनें आपण उष्ण करितों, तेव्हां तिजमधील टरपेंटाइनचा

स्तंभ अधिक उंच होतो, व यावरून तिजमधील द्रव हलका होतो, त C D मधील थंड द्रवाच्या स्तंभास तोलून धरण्यास अधिक उंचीचा स्तंभ लागतो, असें दिसतें.

५४. **पाऱ्याचें केवल किंवा वास्तविक प्रसरण समजल्यापासून फायदे—** वरील रीतीनें हा एका विशेष द्रवाचा केवलप्रसरणगुणक काढता आला; येवढेंच नाहीं तर यापासून आणखीही विशेष उपयोग झाला आहे. कारण आपणास माहीत आहे कीं:—

भांड्यांतील द्रवाचें दृश्यप्रसरण = द्रवाचें केवल प्रसरण — भांड्याचें प्रसरण.

यास्तव आतां आपणास भांड्याचें प्रसरण काढितां येईल. कारण आतां आपणास पाऱ्याचें केवलप्रसर समजलें आहे; ह्मणून भांड्यांतील पाऱ्याचें दृश्य प्रसरण पाहून हें प्रसरण काढतां येतें.

५५. **वरील सिद्धांताचा अधिक सूक्ष्म विचार—**रेग्नाल्टच्या, वरील रीतीनें काढलेला पाऱ्याचा प्रसरणगुणक क या अक्षरानें दर्शवूं.

०°श. उष्णमानावर ज्याचें आकारमान आ_0 आहे, अशा एका भांड्यांत आपण पारा भरूं, आणि त्यास उष्ण करून त्याचें उष्णमान १००° श. पर्यंत वाढवूं. आतां भांड्याचें आकारमान आ_{100} होईल, आणि पाऱ्याचें आकारमान आं_{100} होईल. ह्मणून $\text{आं}_{100} - \text{आ}_{100} = \text{य}_{100}$. इतक्या आकारमानाचा पारा बाहेर वाहून जाईल. व त्याचें हें आकारमान १००°श उष्णमानावर असेल.

वरच्या सारख्याच परिभाषेचा उपयोग करून गं हा भांड्याचा घनप्रसरणगुणक समजला तर पुढील समीकरण मांडतां येईल.

$$\text{य}_{100} = \text{आ}_0 \times 100\text{इ} = \text{आ}_0 \times 100\,(\text{क} - \text{गं})$$

$$\text{म्हणून}\ (\text{क} - \text{गं}) = \frac{\text{य}_{100}}{100\,\text{आ}_0}$$

$$\text{आणि}\ \text{गं} = \text{क} - \frac{\text{य}_{100}}{100\,\text{आ}_0}$$

यावरून ग याची किंमत निघेल. कारण बाकी दुसऱ्या अक्षरांच्या किंमती माहीत आहेत.

नंतर ज्या दुसऱ्या एखाद्या द्रवाचा क्ष हा केवलप्रसरणगुणक काढणें असेल, तो द्रव घेऊन यानप्रमाणें करावें.

१००° श. उष्णमानावर जो द्रव बाहेर वाहून जाईल त्याचें यं_{100} आकारमान मापावें, म्हणजे खालील समीकरण निघेल.

$$\text{क्ष} - \text{गं} = \frac{\text{यं}_{100}}{100\,\text{आ}_0} = \frac{\text{यं}_{100}}{100\,\text{आ}_0}$$

$$\therefore\ \text{क्ष} = \text{गं} + \frac{\text{यं}_{100}}{100\,\text{आ}_0}$$

यावरून क्ष हा केवलप्रसरणगुणक आपणास समजेल.

टीप—नेहमी १००°श. उष्णमान होईपर्यंत, किंवा ०°श. पासूनच उष्ण केलें पाहिजे असें नाहीं. उदाहरणार्थ जर आपण २०°श. पासून ६०°श. पर्यंत उष्णमान चढविलें असतां समीकरणांत जे फेरफार केले पाहिजेत, ते प्रकरण २ यांतील कलम ३४ आणि ३९ यांवरून सहज लक्षांत येणार आहेत.

५६. कित्येक द्रवांच्या केवलप्रसरणगुणकांचें कोष्टक—खालील कोष्टकांत कांहीं द्रवांचे केवलप्रसरणगुणक दिले आहेत.

१°श. उष्णमानाचे केवलप्रसरणगुणक (स्थूलमानानें).			
पाणी ……………… (०°श. व १००°श. यांमध्यें)	.०००१८१५	आल्कोहोल …………	.००१०४९.
		सल्फ्युरिक इथर ……	.००१५१३.
पारा ………………	.०००१७९९	कार्बान डायसल्फाइड.	.००११४०.

अशी साधारण गोष्ट आहे कीं, घनपदार्थांपेक्षां द्रव पदार्थ जास्त प्रसरण पावतात, आणि ज्या उष्णमानापासून प्रसरणगुणक मापण्यास आपण आरंभ करितों, तें उष्णमान ज्याप्रमाणें मोठें असेल; त्याप्रमाणें द्रवांचा प्रसरणगुणक मोठा असतो. वरील कोष्टकांत ०°श. पासून १°श. पर्यंत जें प्रसरण होतें, तें दिलेलें आहे. फक्त पाण्याचें मात्र ०°श. आणि १००°श. यांमधील सरासरी प्रसरण दिलें आहे.

५७. विशिष्टगुरुत्वानें द्रवाचा केवलप्रसरणगुणक काढण्याची रीति—द्रवाचा केवलप्रसरणगुणक काढण्याची दुसरी एक रीति आहे. प्रथमतः या रीतीचें साधारण वर्णन करूं, व नंतर फार सूक्ष्म वर्णन करूं. कोणत्याही आकारमानाच्या पदार्थाच्या वजनास तेवढ्याच आकारमानाच्या पाण्याच्या वजनानें भागून जो अपूर्णांक येतो त्यास त्या पदार्थाचें विशिष्टगुरुत्व असें ह्मणतात.

$$\text{वि} = \frac{\text{पदार्थाचें वजन,}}{\text{त्याच आकाराच्या पाण्याचें वजन.}}$$

हीं वजनें एका विवक्षित उष्णमानांवर घेतलेलीं असतात. आतां पाणी आणि दुसरे पदार्थ भिन्न भिन्न मानानें प्रसरण पावतात, म्हणून भिन्न भिन्न उष्णमानांवर त्यांचीं विशिष्टगुरुत्वें भिन्न असतील. दोन भिन्न उष्णमानांवर एका घनपदार्थाचीं विशिष्टगुरुत्वें काढून, त्या पदार्थाच्या संबंधानें पाणी किती प्रसरण पावलें आहे, हें आपणास सांगतां येईल. शेवटीं जर आपणास घन पदार्थाचें प्रसरण माहीत असलें तर त्यापासून आपणास पाण्याचें प्रसरण समजेल. याचप्रमाणें दुसऱ्या कोणत्याही द्रवाचें प्रसरण काढितां येईल.

प्रयोग—पुढील प्रयोगावरून ही रीति बरीच लक्षांत येईल.

नंतर थंड पाण्याच्या जागीं ऊन पाणी घ्यावें. ह्मणजे असें आढळेल कीं, पितळेचा गोल हा बाह्यात्कारी पूर्वीपेक्षां जड झाला आहे; परंतु याचें कारण असें आहे कीं, पितळेपेक्षां पाणी जास्त प्रसरण पावतें*.

५८. वरील सिद्धांताचा अधिक सूक्ष्म विचार—पाण्याच्या जागीं आपणास दुसरा कोणताही द्रव घेतां येईल.

वि$_{\text{उ१}}$=उ$_{\text{१}}$ उष्णमान असतां पदार्थाचें विशिष्टगुरुत्व.
वि$_{\text{उ२}}$=उ$_{\text{२}}$ उष्णमान असतां ,, ,,
हीं दोन्ही विशिष्टगुरुत्वें नेहमीच्या रीतीनें काढावीं.
द$_{\text{उ१}}$, द$_{\text{उ२}}$=उ$_{\text{१}}$ आणि उ$_{\text{२}}$ या उष्णमानांवरील पदार्थाचीं दाढ्यें.
ई$_{\text{उ१}}$, ई$_{\text{उ२}}$=उ$_{\text{१}}$ आणि उ$_{\text{२}}$ या उष्णमानांवरील द्रवाचीं दाढ्यें.
गं=पदार्थाचा घनप्रसरणगुणक.
क=द्रवाचा केवलप्रसरणगुणक.

वि$_{\text{उ१}}$ आणि वि$_{\text{उ२}}$ आपणास प्रत्यक्ष प्रयोगानें काढितां येतात. पदार्थाच्या लांबीचा प्रसरणगुणक मागें सांगितल्या रीतीनें काढून त्याची तिप्पट केली, म्हणजे त्याचा घनप्रसरणगुणक गं निघेल. उ$_{\text{१}}$, आणि उ$_{\text{२}}$ हीं उष्णमानें पाहतां येतील, ह्मणून क शिवाय बाकी सर्व अव्यक्तांच्या किंमती समजतात. क ची किंमत मात्र काढावयाची आहे.

$$\text{वि}_{\text{उ१}} = \frac{\text{द}_{\text{उ१}}}{\text{ई}_{\text{उ१}}}$$

---

* असें समजूं कीं ०° श. उष्णमानावर एका गोलाचें आकारमान १ होतें, तेंच १००° श. उष्णमानावर १.००६ भरलें. द्रवांत वजन केल्यामुळें ०° उष्णमानावर गोलाचें वजन त्याच्या खऱ्या वजनापेक्षां १८०० ग्रेन कमी भरलें व १००° श. उष्णमानावर १७५० ग्रेन कमी भरलें. तर यावरून हें उघड आहे कीं ०° श. उष्णमानावरील १ आकारमानाच्या द्रवाचें वजन १८०० ग्रेन आहे आणि १००° श. उष्णमानावरील १.००६ आकारमानाचें वजन १७५० ग्रेन आहे; ह्मणून १००° श. उष्णमानावरील १ आकारमानाचें वजन १७३९.५९ ग्रेन होईल, यास्तव ०° श. उष्णमानावर १८०० ग्रेन द्रवाचें आकारमान १ असलें तर त्याचें १००° श. उष्णमानावर आकारमान $\frac{१८००}{१७३९·५९}$ =१.०३४७ होईल. ह्मणजे .०३४७ हें ०° श. पासून १००° श. पर्यंत त्याचें प्रसरण होईल.

$$\text{वि}_{\text{उ}२} = \frac{\text{ई}_{\text{उ}२}}{\text{ई}_{\text{उ}२}} = \frac{\text{ई}_{\text{उ}१}}{\text{ई}_{\text{उ}१}} \times \frac{\frac{१+\text{उ गँ}}{१+\text{उ}_२\text{गँ}}}{\frac{१+\text{उ}_१\text{क}}{१+\text{उ}_२\text{क}}}*$$

दाट्यें आकारमानाच्या व्युत्क्रम प्रमाणांत असतात ह्मणून प्रकरण २ यावरून

$$\text{वि}_{\text{उ}२} = \text{वि}_{\text{उ}१} \frac{\frac{१+\text{उ}_१\text{गँ}}{१+\text{उ}_२\text{गँ}}}{\frac{१+\text{उ}_१\text{क}}{१+\text{उ}_२\text{क}}}$$

किंवा

$$\frac{१+\text{उ}_१\text{क}}{१+\text{उ}_२\text{क}} = \frac{\text{वि}_{\text{उ}१}}{\text{वि}_{\text{उ}२}} \times \frac{१+\text{उ}_१\text{गँ}}{१+\text{उ}_२\text{गँ}}$$

हें साधें एकवर्ण समीकरण आहे. यापासून क ची किंमत आपणास काढितां येईल. नंतर क समजल्यावर वरील रीतीनें गँ काढितां येईल, हें उघड आहे.

जर मागील कलमाप्रमाणें आरंभींचें ०°श उष्णमान घेतलें तर याहून सारणी सोपी निघते.

उष्ण केलेल्या द्रवांतील प्रापण प्रवाह.

९९. **उपोद्घात**—रोजच्या अनुभवावरून आपणास असें माहीत आहे कीं, जड द्रवांवर हलके द्रव किंवा घन पदार्थ तरंगतात.

आतां जेव्हां द्रवरूपी पदार्थांस आपण उष्ण करितों, तेव्हां ते प्रसरण पावतात, म्हणून ते थंड द्रवाच्या पृष्ठभागावर तरंगावे, असें आपणास साहजिक वाटेल. कारण ते उष्ण झाल्यानें हलके होतात. तसेंच जर एखाद्या द्रवाच्या बुडाशीं उष्णता लाविली तर उष्ण झालेला द्रव वर चढून पृष्ठभागीं यावा, आणि प्रापणप्रवाह उत्पन्न व्हावे, हेंही साहजिक आहे.

परंतु कोणत्याही द्रवांत घन व द्रव पदार्थ केव्हां व कां तरंगतील, व बुडतील, याचीं कारणें याहून अधिक चांगल्या रीतीनें समजलीं असतां बरें होईल.

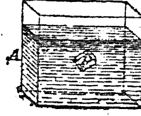
---

* $\frac{\text{ई}_{\text{उ}२}}{\text{ई}_{\text{उ}२}} = \frac{१+\text{गँउ}_२}{१+\text{गँउ}_१}$; $\frac{\text{ई}_{\text{उ}१}}{\text{ई}_{\text{उ}२}} = \frac{१+\text{कउ}_२}{१+\text{कउ}_१}$

म्हणून $\text{ई}_{\text{उ}२} = \text{ई}_{\text{उ}१} \times \frac{१+\text{गँउ}_१}{१+\text{गँउ}_२}$ $\text{ई}_{\text{उ}२} = \text{ई}_{\text{उ}१} \frac{१+\text{कउ}_१}{१+\text{कउ}_२}$

$$\therefore \frac{\text{ई}_{\text{उ}२}}{\text{ई}_{\text{उ}२}} = \frac{\text{ई}_{\text{उ}१}}{\text{ई}_{\text{उ}१}} \times \frac{\frac{१+\text{गँउ}_१}{१+\text{गँउ}_२}}{\frac{१+\text{कउ}_१}{१+\text{कउ}_२}}$$

६०. **प्रवाही शास्त्राचा सिद्धांत**—A B हें पाण्यानें भरलेलें कांचेचें भांडें आहे. पाण्याच्या मध्यभागीं P हा एक पाण्याचा भाग आहे. अशी कल्पना करूं कीं, हा भाग इतर पाण्यापासून वेगळा आहे, व त्याविषयीं आपण विचार करीत आहों. (आकृति ३३ पहा.)



आकृति ३३ वी.

हा भाग चलन पावण्यास मोकळा आहे. यास वजन आहे, तथापि हा स्थिर आहे. हा स्थिर नसता तर आतां आपणास दिसतें तसें पाणी स्थिर व संथ न दिसतां एक सारखें हालत राहिलें असतें.

म्हणून सभोंवतालच्या पाण्यानें यास समतोल धरलें असलें पाहिजे.

त्यावर दोन प्रेरणांचा व्यापार चालला आहे; (१) त्याचें वजन आणि (२) सभोंवतालच्या पाण्याचा दाब. ज्यापेक्षां तो भाग चलन पावत नाहीं, त्यापेक्षां या दोनही प्रेरणा अगदीं समान व परस्पर विरूद्ध दिशांनीं कार्य करणाऱ्या असल्या पाहिजेत. परंतु आपणास माहीत आहे कीं P पाण्याच्या वजनाचें कार्य खालच्या बाजूस लंब दिशेनें किंवा दिक्रेषेंत घडतें. म्हणून आपणास असें अनुमान करतां येतें कीं, P भागावर सभोंवतालच्या पाण्याचा जो दाब पडतो, तो परिमाणानें अगदीं त्याच्या वजनाबरोबर असून त्याचें कार्य वरच्या बाजूस लंब दिशेंत घडलें पाहिजे.

याहून एक पाऊल आपण पुढें जाऊं. अशी कल्पना करूं कीं, जी जागा P भागानें व्यापिली आहे, त्या जागीं पाण्याच्या बदला लोखंड, लाकूड, इत्यादि कोणता तरी पदार्थ आहे. तर यामुळें सभोंवतालच्या पाण्याच्या त्यावरील दाबांत कांहीं फेरफार होणार नाहीं. तो पूर्वीच्या इतकाच असेल. पाण्यासारखा दुसरा कोणताही द्रव घेतला असता तर हेंच अनुमान काढिलें असतें. म्हणून आपणास असा साधारण सिद्धांत ठरवितां येतो.

कोणत्याही द्रवांत पदार्थ बुडविला असतां त्यावर सभोंवतालच्या द्रवाच्या दाबाचें कार्य वरच्या बाजूस लंब दिशेंत घडतें, आणि त्याचें परिमाण पदार्थानें व्यापिलेल्या जागीं जेवढा द्रव राहूं शकेल त्याच्या वजनाबरोबर असतें, किंवा पदार्थानें दूर केलेल्या द्रवाच्या वजनाबरोबर असतें. शेवटल्या वाक्यांत दिल्याप्रमाण याची नेहमी व्याख्या करितात.

याच प्रमाणें विचार केला असतां आपणास समजेल कीं जाहाजासारखे जे पदार्थ द्रवांत कांहीं थोडे मात्र बुडालेले असतात, त्यांवरही द्रवांत बुडालेल्या पदार्थांच्या भागानें दूर केलेल्या पाण्याच्या वजना इतक्या दाबानें पदार्थ वर दाबले जातील.

६१. **द्रवाच्या थंड भागांमधून त्याच्या उष्ण झालेल्या भागाचें चढणें**—आतां थंड पाण्यांतून उष्ण पाणी कां चढतें, व यामुळें प्रवाह कां उत्पन्न होतात, हें आपणास स्पष्टपणें समजेल.

कारण पदार्थ आपल्या वजनानें खालीं जाऊं शकतो, तें वजन ब आहे, असें समजूं. आणि त्यानें दूर केलेल्या पाण्याचें वजन त्यास वर लोटीत असतें, तें वजन व आहे, असें

समजू. तर ब पेक्षां वं मोठा, त्या बरोबर किंवा त्याहून लहान असेल, त्याप्रमाणें पदार्थ पाण्यांत बुडेल, किंवा हवा तेथें राहील, किंवा वरच्या बाजूस दावला जाईल.

कोणत्याही आकारमानाचें थंड पाणी उदाहरणार्थ १ घनफूट थंड पाणी उष्ण झालें ह्मणजे प्रसरण पावतें. परंतु तेणेंकरून त्याच्या वजनांत फरक पडत नाहीं. म्हणून तेंच १ घनफूट पाणी उष्ण झालें ह्मणजे १ घनफूट थंड पाण्याहून जास्त पाण्यास दूर कारितें; परंतु त्याचें वजन १ घनफूट थंड पाण्या इतकेंच असतें. म्हणून येथें ज्या वजनानें तें पाणी खालीं जात असतें त्याहून त्यास वर लोटणारा दाब अधिक असतो, किंवा वं पेक्षां व वजन मोठें असतें. याकरितां उष्ण झालेलें पाणी थंड पाण्यांतून वर चढतें. या रीतीनें उत्पन्न झालेल्या प्रवाहांस प्रापणप्रवाह असें ह्मणतात. याचीं कांहीं उदाहरणें आतां देऊं.

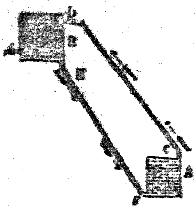
(१) विस्तवावर किंवा दिव्यावर पाण्याचें भांडें ठेविलें म्हणजे तें याच रीतीनें उष्ण होतें.

बहुतकरून भांड्याच्या बुडाशीं, आणि कधीं कधीं किंचित एका बाजूस आपण उष्णता लावितों. यामुळें प्रापणप्रवाह एकदम उत्पन्न होतात. कारण ऊन पाणी वर चढतें, व थंड पाणी खालीं उतरतें, आणि तें थंड पाण्याच्या जागीं जातें. याप्रमाणें क्रिया सर्व पाणी ऊन होईपर्यंत चालते.

प्रयोग—A B हें पाण्यानें भरलेलें थोरलें पंचपात्र आहे, व त्यामध्यें कांहीं लांकडाचा कीस टाकिलेला आहे. बाण तिराच्या टोकांनीं दाखविल्याप्रमाणें पाण्याचें चलनवलन चाललें आहे असें दिसेल. (आकृति ३४ पहा.)

आकृति ३४ वी.

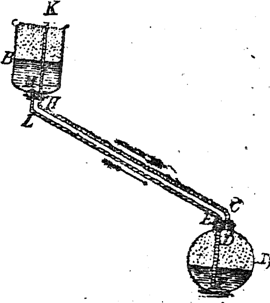
(२) माडीवर स्नान करण्याच्या खोलींत खालच्या मजल्यांतून ऊन पाणी प्रापणप्रवाहांनीं चढवितात. असें करण्यास जी भांड्यांची रचना व योजना लागते, ती सोबतच्या आकृतींत दाखविली आहे. (आकृति ३५ पहा) स्वयंपाक घरांतील चुलीवर ठेविलेले A हें पाणी तापविण्याचें भांडें आहे. B हा दुमजल्यावरील ऊन पाण्याचा हौद आहे.



आकृति ३५ वी.

पाणी तापविण्याच्या A भांड्याच्या माथ्यापासून B हौदाच्या माथ्यापर्यंत C D नळी जाते, आणि B च्या बुडापासून A च्या बुडापर्यंत जोडलेली E F नळी आहे. A भांड्यांतील ऊन पाणी हलकें होऊन वरच्या हौदांत चढतें, आणि यांतील थंड पाणी खालच्या भांड्यांत उतरतें. याप्रमाणें B भांड्यांत एक सारखें ऊन पाणी जातें व A भांड्यांत नेहमी थंड पाणी उतरत असतें. म्हणून बाणाच्या टोकानें दर्शविल्याप्रमाणें पाण्याची चढण्याची व उतरण्याची क्रिया नेहमी चालू असते.

प्रयोग—फ्यारेडेचें प्रापण दाखविण्याचें यंत्र—हें चलनवलन पुढील प्रयोगानें दाखवितां येतें. A या चंबूच्या तोंडांत रबराचें बूच असून त्यांत दोन नळ्या बसविलेल्या आहेत. (आकृति ३६ पहा) C D नळी बुचांतून A भांड्याच्या तोंडाशीं जाते, आणि E F नळी A भांड्याच्या बुडापर्यंत जाते. B ही उघड्या तोंडाची हांडी आहे, व तिच्या खालच्या तोंडांत रबराचें बूच असून त्यांत H K आणि L M या नळ्या बसविल्या आहेत. H K माथ्यापर्यंत आहे, आणि L M बुडाशीं मात्र आंत गेलेली आहे.



आकृति ३६ वी.

म्हणून H आणि C यांस रबरी नळीनें जोडिलें, व त्याचप्रमाणें L आणि E यांस जोडिलें ह्मणजे A आणि B भांड्यांचे माथे आणि त्यांचीं बुडें परस्पर जोडलीं जातात.

प्रथमतः निळानें रंगविलेलें गरम पाणी A भांड्यांत भरूं, आणि नंतर रबरी नळ्या जोडूं, व HK नळीच्या K टोंकावर बोट ठेवून B भांड्यांत लाल रंगविलेलें थंड पाणी भरूं. नंतर K टोंकावर बोट असतांच नळ्यांतील हवा पाण्याच्या योगानें बाहेर घालवूं, आणि सर्व हवा बाहेर जाऊन K या उघड्या तोंडापर्यंत B भांडें पाण्यानें भरलें ह्मणजे प्रापणप्रवाह सुरू झाल्याचें एकदम दिसेल. आकृतींत प्रयोग अर्धा झालेला दाखविला आहे.

K टोंकावर बोट धरण्याचें कारण असें कीं MLE नळींतून हवेस घालवून पाणी उतरत असतां थंड व उष्ण पाणी यांचें जलदी मिश्रण होऊं नये.

६२. **सागरांतील प्रवाह**—विस्तवावर भांड्यांत पाणी तापवीत असतां जे प्रवाह उत्पन्न होतात, त्यांहून फार मोठे प्रापणप्रवाह सृष्टींत उत्पन्न झाल्याचीं उदाहरणें आपणास आढळतात.

उत्तर व दक्षिण शीतकटिबंधांतील समुद्राच्या पाण्यापेक्षां उष्णकटिबंधांतील समुद्राचें पाणी जास्त उष्ण होतें. यामुळें दोहोंकडच्या पाण्याहून तें हलकें होऊन पाण्यांत लांकूड जसें वर येतें त्याप्रमाणें तें थंड पाण्यावर चढूं लागतें.

परंतु अशा स्थितींत त्यास राहतां येत नाहीं; म्हणून तें एकसारखें विषुववृत्तावर फुगून उत्तर व दक्षिण ध्रुवांकडे खालीं जाऊं लागतें. याप्रमाणें उत्तरेकडे व दक्षिणेकडे जाणारे ऊन पाण्याचे प्रवाह उत्पन्न होतात, आणि तिकडून पृष्ठभागाखालून थंड पाण्याचे प्रवाह उलट येत असतात.

अखात प्रवाह हा ऊन पाण्याचा महत्वाचा प्रवाह आहे. मेक्सिकोचें अखात व त्यांतून बाहेर पडण्याचे मार्ग यांच्या विशेष प्रकारच्या रचनेवरून व पृथ्वीच्या दैनंदिन गतीच्या कार्यानें या प्रवाहास विशेष प्रकारचा आकार व दिशा प्राप्त झालेली आहेत.

वाऱ्याच्या कार्यामुळें गरम झालेल्या पाण्याचा प्रवाह मेक्सिकोच्या अखातांत पृष्ठभागावरून शिरतो; आणि हेंच या अखातप्रवाहाचें मूळ कारण आहे. विलायतेच्या हवेवर या प्रवाहाचा जो परिणाम होतो, तो सर्व प्रसिद्धच आहे*.

टीप—विषुववृत्तापासून समुद्राच्या पृष्ठभागीं जे ऊन पाण्याचे प्रवाह उत्पन्न होतात, त्यांच्या दिशांवर पृथ्वीच्या फिरण्याचा परिणाम काय होतो, त्याचा विचार येथें केला नाहीं. **व्यापारोपयोगी वाऱ्यां**विषयीं लिहितांना याचा विचार करूं.

६२. प्रापण आणि वहन—तांब्याच्या गोळ्यासारखा एकादा घनपदार्थ आणि पाणी असे दोन पदार्थ कसे अगदीं भिन्न रीतींनीं उष्ण होतात, याविषयीं आतां विचार करूं. पाणी व याचप्रमाणें दुसरे द्रव प्रापणप्रवाहांनीं उष्ण होतात; पाण्याचा प्रत्येक भाग पाळी पाळीनें उष्णतेच्या उत्पत्तिस्थानाकडे जातो. परंतु तांब्याच्या गोळ्यांत या प्रकारचे प्रवाह नसतात. तांब्याचे दूरचे भाग उष्णतेच्या वहनानें उष्ण होतात, किंवा एका कणापासून दुसऱ्या कणाकडे उष्णता जाऊन ते उष्ण होतात. चुन्याप्रमाणें जर घनपदार्थ मंदवाहक असला, तर त्याचा एक भाग शुभ्रोष्ण झाला, तरी दुसरा भाग अगदीं थंड राहतो. कारण घनपदार्थांत दूरचे भागांस जर वहनानें उष्णता पोंचली नाहीं, तर ते मुळींच उष्ण होत नाहींत. पाणी, आणि टर्पेंटाइन यांसारखे दुसरे द्रव प्रापणानें उष्ण होतात; परंतु वहनानेंही उष्ण होणार नाहींत असें गृहित घेणें बरोबर होणार नाहीं. कारण पारा हा एक द्रवरूपी पदार्थ चांगला शीघ्रवाहक आहे. याकरितां पाणीही शीघ्रवाहक आहे किंवा नाहीं याचा निर्णय करण्यास आपणास प्रयोग केला पाहिजे.

परंतु प्रयोग करितांना जे प्रापणप्रवाह उत्पन्न होतील ते न होण्यास आपणास काय केलें पाहिजे तें पाहूं. पाण्यास जर पृष्ठभागाजवळ उष्ण केलें तर हे प्रवाह उत्पन्न होणार नाहींत, हें एकदम लक्षांत येणार आहे. याप्रमाणें पृष्ठभागीं उष्ण केल्यानें उष्णता खालीं जाते की काय तें पाहूं.

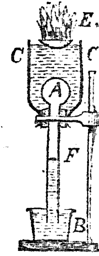
पाणी मंदवाहक आहे, हें दाखविण्यासाठीं आपण दोन प्रयोग करूं. हीच गोष्ट सर्व द्रवरूपी पदार्थांस लागू आहे. यास अपवाद म्हटले म्हणजे पाऱ्यासारखे वितळून द्रवरूप स्थितींत आलेले धातु होत.

प्रयोग—(१) एक लांब परीक्षानळी घ्यावी. या नळींत बुडाशीं थोडें पाणी घेऊन नळीचें बूड सोडियम सल्फेट, आणि हैड्रोक्लोरिक आसिड या दोहोंच्या शीतताजनक मिश्रणांत बुडवून पाणी थिजवावें. नंतर नळी पाण्यानें भरावी, आणि पाण्या-

* हा प्रवाह मेक्सिकोच्या आखातांतून उत्तर अमेरिकेच्या दक्षिण किनाऱ्यावरून वायव्य दिशेकडे अटलांटिक महासागरांतून वाहत जाऊन आयर्लंडच्या किनाऱ्यावर आणि युरोपच्या वायव्य किनाऱ्यावर थडकून उत्तरेकडे जातो. या प्रवाहाच्या पाण्याचें उष्णमान सभोंवतालच्या व खालच्या पाण्याहून ९°श. जास्त उष्णमानाचें असतें. यामुळें आयर्लंडाची आणि युरोपाच्या बहुतेक पश्चिमभागाची हवा इतर भागांपेक्षां जास्त गरम असते व इतर भागांइतकी इकडे कडक थंडी पडत नाहीं.

च्या पृष्ठभागाजवळ नळी दिव्याच्या ज्योतींत धरून पाणी तापवावें, म्हणजे आपणास असें आढळेल कीं, बुडाजवळचें बर्फ फारसें न वितळतां आपणास नळीच्या वरच्या भागीं पाणी तापवितां येतें. परंतु जर नळी उपडी केली तर सर्व पाण्यांत उष्णता प्रसृत होते, असें आपणास दिसेल. कारण नळी उपडी करतांच प्रापणप्रवाह उत्पन्न होऊन पाण्यांत चलनवलन सुरू होतें.

प्रयोग(२)—पहिल्या प्रकरणाच्या शेवटीं ज्याचें वर्णन केलें, तें AB हवेचें उष्णमापक आहे. याच्या वरच्या A फुग्याभोंवतीं कांचेचें पात्र असून तें थंड पाण्यानें भरलेलें आहे. (आ. २७ पहा.) या पाण्याच्या पृष्ठभागीं त्रिकोणाकार तारेच्या चौकटीवर एक कथिलाच्या पत्र्याची लहानशी थाटी ठेविली आहे.



आतां जर A फुग्याजवळील पाणी यत्किंचित् थोडें उष्ण होईल, तर त्यांतील हवा प्रसरण पावेल, आणि FB नळींतील पाणी खालीं उतरेल. परंतु हें जर उतरणार नाहीं, तर A सभोंवतालचें पाणी उष्ण झालें नाहीं, हें उघड होईल.

E थाटींत आपण थोडा मद्यार्क घालूं, व त्यास पेटवून सर्व जळूं देऊं. आ०३७वी.

FB नळींतील पाण्याचा स्तंभ अगदीं स्थिर आहे. म्हणून पृष्ठभागच्या उष्णतेनें CC′ भांड्याच्या तळचें पाणी उष्ण झालें नाहीं, हें उघड आहे.

नंतर E थाटी काढून CC′ मधील पाणी ढवळावें, म्हणजे लागलेंच FB नळींतील पाणी उतरतें, व A फुगा उष्ण झाला, हें स्पष्ट होतें. म्हणून CC′ भांड्याच्या माथ्यापाशीं E थाटींत मद्यार्क जाळून तेथचें पाणी उष्ण झालें होतें, असें समजतें.

या प्रयोगावरून आपणास असें समजतें कीं, माथ्यापासून खालीं A जवळ पाण्याच्या योगानें उष्णतेचें वहन घडलें नाहीं.

हवेच्या उष्णमापकानें उष्णमान फार सूक्ष्म रीतीनें मापितां येतें. यास्तव पाणी मंदवाहक आहे, असें आपणास म्हणतां येईल.

पाण्याचें अनियमित प्रसरण.

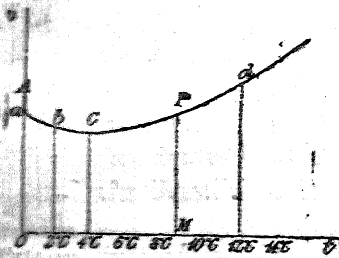
६४. **०°श पासून २०°श पर्यंत पाण्याचें प्रसरण**—हा वेळपर्यंत प्रसरणाचा विचार करितांना आपण असें समजलों कीं पदार्थाचें उष्णमान वाढविलें कीं, नेहमी त्याचें आकारमान वाढतें. परंतु ज्या एका पदार्थास कांहीं नियमित उष्णमानांमध्यें ही गोष्ट लागू नाहीं, त्याविषयीं विचार करूं.

०°श उष्णमानाचा एक बर्फाचा तुकडा घेऊं, व त्यास वितळवून त्याचें ०°श. उष्णमानाचें पाणी करूं. या वेळीं एकाएकीं बरेंच आकारमान कमी झाल्याचें आपल्या अनुभवास येईल. वस्तुतः १५ घनइंच बर्फाचें १४ घनइंच पाणी होतें. आतां ०°श. हून आणखी त्याचें उष्णमान वाढविलें, तर ४°श. पर्यंत आणखी त्याचें आकारमान कमी होत आहे, असें आपणास आढळतें. यापुढें उष्णमान वाढविलें, म्हणजे तें

प्रसरण पावूं लागेल, आणि पुढें जसजसें उष्णमान वाढेल, त्याप्रमाणें अधिकाधिक प्रसरण पावत जाईल. यास्तव त्याचें दार्ढ्य ४°श. वर महत्तम असतें, हें उघड आहे.

६५. पाण्याचें प्रसरण भूमितीनें दाखविणें—बीज व भूमिती या दोहोंचें संगतीकरण (अनालिटिकल जामेट्री) याचीं मूलतत्वें ज्यांस माहीत आहेत, त्यांस आम्ही हें पाण्याचें वर्तन ज्या रीतीनें दाखविणार आहों, ती रीति सहज समजेल; परंतु थोडासा विचार केला असतां कोणासही समजण्यास फारसें अवघड जाणार नाहीं.

Ot आणि Ov या दोन रेषा परस्परांशीं काटकोन करण्याजोग्या काढूं. Ot रेषेवर मापिलेलीं अंतरें उष्णमानें दर्शवितात, आणि Ov रेषेवर मापिलेलीं अंतरें आकारमानें दर्शवितात, असें कल्पूं. आतां पाण्याचें आकारमान व त्या वेळचें त्याचें उष्णमान दर्शविण्यास P हा असा बिंदु घेऊं कीं, त्या बिंदूपासून Ot वर काढलेला PM लंब आकारमान दर्शवितो, आणि Ov वर P पासून काढलेला लंब किंवा त्याबरोबरीचा OM लंब त्याचें उष्णमान दर्शवितो. P सारख्या दुसऱ्या अशा अनेक बिंदूंस सांधिलें तर एक सलग वक्ररेषा उत्पन्न होईल. कारण उष्णमान बदलेल त्याप्रमाणें पाणी एकसारखें प्रसरण व आकुंचन पावत असतें. (आ. ३८ पहा.)



आकृति ३८ वी.

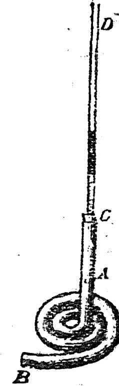
आपण असें समजूं कीं, O बिंदु ०°श. उष्णमान दर्शवितो, व O A रेषा ०°श. उष्णमानाच्या बर्फाचें आकारमान दर्शविते; आणि O a रेषा त्याच बर्फाच्या ०°श. उष्णमानाच्या पाण्याचें आकारमान दर्शविते. तर मागील कलमांत सांगितलेल्या सर्व गोष्टी खऱ्या असतील तर आकृतींत काढल्या सारखी वक्ररेषा पाण्याचें प्रसरण व आकुंचन दर्शवील. जेथें वक्ररेषा वरच्या बाजूस किंवा खालच्या बाजूस सरळरेषा होत गेली आहे, तेथून उष्णमानाप्रमाणें प्रसरण व आकुंचन नियमित होत गेलें आहे, असें थोडासा विचारा अंतीं समजेल.

टीप—येथें O पासून T कडे वक्ररेषा काढीत गेलों आहों, असें आपण समजतों.

६६. पाण्याच्या वर्तनाचीं उदाहरणें—हें पाण्याचें वर्तन शास्त्रदृष्ट्या केवळ चमत्कार वाटण्याजोगें आहे, एवढेंच नसून हें सृष्टक्रियामध्येंही मोठें महत्वाचें आहे. शीतकटिबंधांत हिवाळ्यांत रात्रीं कडक थंडी पडली असतां एकाद्या तळ्यांतील पाण्यावर तिचें कार्य कसें होतें, याचा विचार करूं. असें समजूं कीं, आरंभीं सर्व पाण्याचें उष्णमान १२°श. आहे. थंडीनें शीत होण्याची क्रिया पाण्याच्या पृष्ठभागीं चालते. पृष्ठभागचें पाणी शीत झालें म्हणजे तें आकुंचित होऊन जड होतें, आणि तळीं जातें, आणि तळचें गरम व हलकें पाणी पृष्ठभागीं त्याच्या जागीं येतें. ही शीत होण्याची क्रिया व पाण्याचें

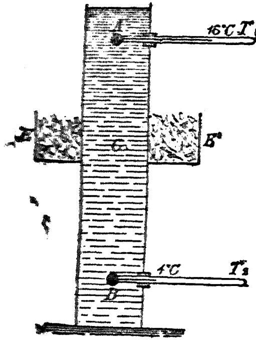
खालवर चलन सर्व पाण्याचें ४°श. उष्णमान होईपर्यंत चालतात. या नंतर पृष्ठभागचें पाणी आणखी शीत झालें म्हणजे मागें सांगितल्याप्रमाणें तें प्रसरण पावेल. म्हणून बाकी पाण्यावरच तें तरंगत राहील; आणि या पुढें पाण्याचें खालवर चलन होणार नाहीं. ह्मणून बाकीचें खालचें पाणी जास्त शीतही होणार नाहीं. पृष्ठभागचें पाणी ०°श. पर्यंत शीत होईल, आणि नंतर थिजेल. थिजून बर्फ होतांना आणखी प्रसरण पावेल, व हलकें बर्फ पाण्यावर तरेल. ह्मणून असें सिद्ध झालें कीं, पृष्ठभागाच्या किंचित् खालपासून तहत तळ्याच्या किंवा सरोवराच्या तळापर्यंत ४°श. उष्णमानावर पाणी राहील, आणि पृष्ठभागीं बर्फ असेल. या पुढें आणखी शीत होणें तें वहनानें झालें पाहिजे; आणि पाणी फार मंदवाहक असल्यामुळें ही क्रिया फार सावकाश चालेल. पाण्याचें याहून भिन्न वर्तन असतें, उदाहरणार्थ ९°श. पर्यंत पाणी आकुंचित होत जातें, तर काय परिणाम घडले असते, हें वरच्याप्रमाणेंच विचार केल असतां सहज लक्षांत येईल.

प्रयोग १—पुढील प्रयोगावरून असें दिसेल कीं, उच्च उष्णमानावर असतां पाणी जितकें आकुंचन पावतें, तितकें ०°श. उष्णमानाजवळ आकुंचन पावत नाहीं. आणि तें जेव्हां थिजतें, तेव्हां एकाएकीं पुष्कळ प्रसरण पावतें. या प्रयोगांत (कलम ६७ यांत सांगितल्याप्रमाणें बारीक रीतीनें हिशेब केल्याशिवाय) ४°श. पासून ०°श. पर्यंत पाणी पुनः प्रसरण पावूं लागतें, ही गोष्ट साक्षात् दिसणार नाहीं. AB हें शिशाच्या नळीचें एक वेटाळें आहे. त्याचें B तोंड बंद आहे. हें वेटाळें आडवें सपाट जागीं ठेविलेलें आहे. याचा AC हा भाग उघडा असून सरळ लंबाकार वांकविलेला आहे. या नळींत रंगविलेलें पाणी भरून व C तोंडास एक रबराचें बूच बसवून त्यांत कांचेची CD नळी अशी बसवावी कीं, तिजमध्यें कांहीं उंचीपर्यंत पाणी चढावें. भाग पाडलेला जाड कागद नळीस जोडावा, म्हणजे पाणी नळींत चढलें, किंवा उतरलें हें समजेल. (आ. ३९ पहा) आरंभीं पाणी ३०°श. उष्णमानावर आहे, असें समजूं. आतां वेटाळें एका परातींत ठेवून त्यावर बर्फ आणि मीठ यांचें मिश्रण घालावें. प्रथमतः पाणी सावकाश उतरेल, व त्यावरून शिशापेक्षां पाणी अधिक आकुंचित होत आहे, असें दिसेल. ४°श. उष्णमानावर पाणी पोंचण्यापूर्वींच शिशाहून पाणी कमी आकुंचित होऊं लागेल, आणि पाणी उतरण्याचें बंद होऊन चढूं लागेल. पाणी ४°श. उष्णमानावर आलें ह्मणजे तें मुळींच आकुंचित होणार नाहीं, परंतु शिसें तसेंच आकुंचित होत जाईल. यामुळें पाणी चढेल, आणि ४°श. पासून ०°श. पर्यंत शिशाच्या आकुंचनामुळें, पाणी जास्त चढेल. नंतर कांहीं थोडें पाणी थिजून त्याचें बर्फ होईल, व नळींत एकाएकीं आणि जलद त्याचा बराच स्तंभ चढेल.



आ. ३९ वी.

प्रयोग २. होपचें यंत्र—सोबतच्या आकृतींत या यंत्राचें छिन्न दाखविलें आहे. A C B हें एक उंच जस्ती पंचपात्र आहे. यास माथ्याजवळ एक व बुडाजवळ एक अशीं दोन भोकें असून त्यांत बुचांतून T_1 आणि T_2 हीं उष्णमापकें अनुक्रमें बसविलीं आहेत. पंचपात्राच्या मध्यभागीं बाहेरच्या बाजूस E E′ हा एक पन्हळ बसविलेला आहे. (आकृति ४० पहा)



आकृति ४० वी.

असें समजू कीं, पंचपात्रांत १६°श. उष्णमानाचें पाणी भरलेलें आहे. तर T_1 आणि T_2 हीं दोन्ही उष्णमापकें १६°श. वर असतील. नंतर E E′ पन्हळांत बर्फ आणि मीठ यांचें मिश्रण घालावें. आतां A C B पंचपात्रांतील मध्यभागचें पाणी शीत होईल, आणि तळ्यांतल्यासारखें C आणि B या दोन भागांत खालवर चलन सुरू होऊन C ठिकाणचें व त्या खालचें सर्व पाणी ४°श. वर येईल. इतकें होईपर्यंत वरचें T_1 उष्णमापक १६°श. वरच असेल; परंतु खालचें T_2 उष्णमापक ४°श. वर जाईल.

या पुढें C ठिकाणच्या मध्यभागचें पाणी त्याचें उष्णमान ०°श. इतकें उतरेपर्यंत प्रसरण होत जाईल. परंतु त्यावर जें १६°श. चें पाणी आहे, त्यांतून वर चढण्याजोगें तावडतेव हलकें होणार नाहीं. म्हणून आणखी कांहीं वेळ वरचें उष्णमापक १६°श. वरच राहील.

परंतु जेव्हां C ठिकाणीं बर्फ बनेल, तेव्हां तें हलकें असल्यामुळें वर चढून पृष्ठभागीं चढेल. परंतु तेथच्या पाण्यांत वितळून तेथचें उष्णमान उतरेल. याप्रमाणें बर्फ वर चढत जाऊन C वरच्या सर्व पाण्याचें ०°श. उष्णमान होईल. नंतर C पासून थेट माथ्यापर्यंत बर्फ होईल, आणि बर्फाचे तुकडे C पासून वर सर्वत्र दिसतील. परंतु बहुतानें C खालचें पाणी थंड होत नसल्यामुळें T_2 उष्णमापक ४°श. वरच राहील.

पाण्याचें ४°श. उष्णमानावर महत्तम दार्ढ्य असतें किंवा त्याचा आकार अत्यंत कमी असतो; आणि बर्फ पाण्याहून आकारानें मोठें व वजनास हलकें असतें, या गोष्टी या प्रयोगावरून स्पष्ट होतील.

टीप—पुढें आपणास असें समजेल कीं, बर्फ आणि मीठ यांस एकत्र मिसळलें म्हणजे अत्यंत शीतता उत्पन्न होते; हेंही या स्थळीं सांगितलें पाहिजे कीं, C ठिकाणीं जें पाणी थंड होतें तें तेथच्या पाण्याच्या आडव्या थरांतील एक थर शीत होत नसून शीततावजनक मिश्रणाच्या संनिधच्या पाण्याचें एक कंकण शीत होतें. B ठिकाणचें पाणी ४°श. वर पोंचल्यावरही C आणि B यांमध्यें थोडें चलन चालू असतें. शिवाय पाण्याचे निरनिराळे थर एकमेकांत अभिसरणानें मिश्र होतात.

६७. पाण्याचें प्रसरण काढणें—वांकड्या नळीच्या रीतीनें काढलेला जो

पाऱ्याचा केवलप्रसरणगुणक त्यावरून भांड्याचा गं हा घनप्रसरणगुणक काढितां येईल. नंतर ०°श. पासून दुसऱ्या कोणऱ्याही उष्णमानापर्यंत, उदाहरणार्थ ८०°श. पर्यंत पाण्याचें दृश्यप्रसरण किती असतें, हें पाहतां येईल; आणि तसेंच ०°श. पासून २°श. पर्यंत, २°श. पासून ४°श. पर्यंत असेंही निरनिराळें प्रसरण किंवा आकुंचन पाहून पाण्याचें प्रसरण किंवा आकुंचन खालील सारणीनें काढितां येईल.

क=द+गं.

यावरून पाण्याचें केवल प्रसरण, आणि निरनिराळ्या उष्णमानावरील त्याचा आकार आपणास मापितां येईल.

नंतर उष्णमानाचें व त्यावरील पाण्याच्या आकाराचें आपणास कोष्टक करितां येईल; आणि त्याच्या आकाराच्या प्रमाणांत एका स्थिर रेषेवर उष्णमानें दर्शविणाऱ्या रेषांच्या बिंदूपासून लंब काढून प्रसरण दर्शविणारी वक्र रेषा काढितां येईल.

प्रकरण ३ यावर प्रश्न व उदाहरणें.

(१) पाऱ्याच्या उष्णमापकांत पारा असलेली सर्व नळी द्रवांत बुडत नसली तर त्यावरून जीं उष्णमानें समजतील, त्यांत पुढील दोन उदाहरणांत काय अंतर पडेल?

(१) जेव्हां द्रवाचें उष्णमान हवेहून जास्त असेल.

(२) जेव्हां द्रवाचें उष्णमान हवेहून कमी असेल.

जें उत्तर द्याल त्याचीं कारणें सांगा.

(२) कलम ४४ यांत सांगितल्याप्रमाणें मजजवळ एक कुपी, एक नळी व एक द्रव भरीं आहेत. तर पुढील उदाहरणांत एकाएकीं व सावकाश शीत केल्यापासून काय परिणाम दृष्टीस पडतील त्यांचें वर्णन करा.

(१) जेव्हां कुपीच्या द्रव्याइतकेंच द्रवाचें प्रसरण असेल.

(२) जेव्हां कुपीच्या द्रव्याच्या प्रसरणाहून द्रवाचें प्रसरण कमी असेल.

(३) उष्णमापक करण्यास कांचेहून ज्याचें प्रसरण कमी आहे, असा द्रव घेतला, तर अशा उष्णमापकावर जे अंश किंवा विभाग पाडावयाचे त्यांत व साध्या उष्णमापकावर जे अंश किंवा भाग पाडितात त्यांत कोणता मोठा भेद पडेल?

(४) एका मोठ्या तळ्यांत, व त्यांतून आलेल्या छोट्या नळींत पाणी एका पानसळींत असतें याचें कारण काय असावें, तें सांग? आणि या ठिकाणीं पुष्कळ पाणी थोड्या पाण्यास तोलून धरितें, ही असंभवनीय गोष्ट कशी नसते तें स्पष्ट कर?

(५) ५२ कलमांत सांगितल्याप्रमाणें पुढील गोष्टी दिल्या असतां A आणि B नळींनील द्रवांचीं दाढ्यें काढा. क्षितिज पातळीशीं समांतर अशा जमिनीपासून उंच्या मोजल्या त्या खालीं लिहिल्याप्रमाणें भरल्या. (१) दोहोंमधील साधारण पातळीची उंची ३ फूट ९ इंच. (२) A मधील द्रवाचा माथा ४ फूट २ इंच. (३) B मधील द्रवाचा फांटा ४ फूट १० इंच.

(६) रेग्नाल्टच्या यंत्रांत ०°श. उष्णमानावर द्रवाच्या स्तंभाची उंची २ फूट

होती; आणि १००°श. वर २ फूट १ इंच होती. यावरून १°श. उष्णमानाचा प्रसरणगुणक काढ.

(७) पुढील तीन रीतींनीं अनुक्रमें जर पाण्याचें वर्तन घडलें तर त्याचा सृष्टींत काय परिणाम होईल? (१) ०°श. पर्यंत पाणी आकुंचन पावलें, आणि थिजतांना प्रसरण पावलें. (२) जर ०°श. पर्यंत पाणी आकुंचन पावत असलें, व गोठतांना-ही आणखी आकुंचन पावत असलें. (३) जर पाणी हल्लींप्रमाणें ४°श. पर्यंत आकुंचन पावलें, आणि ४°श. पासून ०°श. पर्यंत प्रसरण पावलें; परंतु गोठतांना आकुंचन पावलें.

(८) एका द्रवाचें केवळ प्रसरण ·००१२ आहे; व त्याचें दृश्य प्रसरण ·०००८ आहे. तर ज्या भांड्यांत द्रव आहे, त्याचा लांबीचा प्रसरणगुणक काय असेल?

(९) पाऱ्याचा केवलप्रसरणगुणक ·०००१७९ आहे. विवक्षित भांड्यांत त्याचें दृश्य प्रसरण ·०००१६ आहे. दुसऱ्या एका द्रवाचें त्याच भांड्यांत दृश्य प्रसरण ·०००२ आहे. तर यावरून भांड्याचें व दुसऱ्या द्रवाचें केवलप्रसरण काढा.

(१०) पाऱ्याचा केवलप्रसरणगुणक १/५५५० आहे. विवक्षित कुपींत त्याचा दृश्य प्रसरणगुणक १/६४८० आहे. तर कुपीचा घनप्रसरणगुणक काढ.

(११) उष्णमापकाच्या नळीचें टोंक बंद केलेलें नाहीं, व तिजमध्यें ३२°फा. उष्णमानावर तोंडापर्यंत पारा भरला तो १००° ग्रेन आहे, याचें उष्णमान ८४° फा. पर्यंत वाढविलें, तर किती ग्रेन पारा बाहेर पडेल? पाऱ्याचा १°फा. उष्णमानाचा केवल प्रसरणगुणक ·०००१ आहे, व कांचेचा प्रसरणगुणक ·००००१३३ आहे.

(१२) —४०°श. पासून +२००°श. पर्यंत उष्णमानें मापितां येण्या जोगें उष्णमापक करावयाचें आहे. तर फुगा व बाकीची नळी यांच्या पोकळींत काय प्रमाण असलें पाहिजे? कांचेंत पारा असतां त्याचा दृश्य प्रसरणगुणक १/६४८० आहे.

(१३) ०°श. उष्णमानावर गुरुत्व उष्णमापकांत जो पारा होता, त्याचें वजन २६४ ग्रेन होतें. त्याचें उष्णमान १००°श. पर्यंत चढविलें, आणि पारा बाहेर पडण्याचें बंद होईपर्यंत तसेंच ठेविलें, नंतर उष्णमापकाचें पुनः वजन केलें, तेव्हां त्यांत २६० ग्रेन पारा शिल्लक राहिला होता. तर यावरून कांचेंत असलेल्या पाऱ्याचा दृश्य प्रसरणगुणक काढा.

(१४) १७५°श. उष्णमानावर पाऱ्याचें दार्ढ्य काय असेल तें काढ; ०°श. वर त्याचें दार्ढ्य १३.५९८ आहे, आणि या दोन उष्णमानांमधील त्याचा सरासरी प्रसरणगुणक .०००१८३ आहे.

(१५) एका बाजूनें बंद अशा नळीचें उघडें तोंड वितळवून केशाकृति बिंदूचा त्यास आकार दिला. ती नळी एका द्रवानें भरून तिचें वजन केलें. ०°श. वर तिजमध्यें १८६ ग्राम द्रव राहिला.

या नळीस उष्ण करून तिचें १००°श. उष्णमान केलें, तेव्हां ९ ग्राम द्रव बाहेर गेला.

कांचेचा घनप्रसरणगुणक .००००२६ आहे. तर ०°श. आणि १००°श. यांमध्यें त्या द्रवाचें केवलप्रसरण काय असेल तें काढ.

प्रकरण ४.

वायूंवर दाबाचा परिणाम.

म्यारिअटचा सिद्धांत.

६८. हा वेळपर्यंत उष्णमान चढविल्यानें घन व द्रवरूपी पदार्थांच्या आकारावर किंवा आकारमानावर काय परिणाम होतात, याचा विचार केला. आतां पुढें वायूंवर काय परिणाम होतो, त्याचा विचार करूं.

परंतु वायूवरील परिणामाविषयीं विचार करणें तितकें सोपें नाहीं. कारण घन व द्रवरूपी पदार्थांचे आकार व्यवहारदृष्ट्या केवळ त्यांच्या उष्णमानावर मात्र अवलंबून असतात, असें आपणास समजतां येतें. फार सूक्ष्म व बारीक विचार करते वेळीं मात्र त्यावरील दाब मनांत आणावा लागतो. परंतु वायुरूपी पदार्थांचें आकारमान सर्वदा त्यांच्या उष्णमानावर व त्याचप्रमाणें त्यांजवरील दाबावर अवलंबून असतें.

म्हणून प्रथमतः वायुरूपी पदार्थांवर दाबाचा परिणाम काय होतो, त्याचाच वेगळा विचार करूं; आणि या वेळीं त्यांचें उष्णमान समान आहे, असें समजूं. हें केवळ विवेचन सोपें व्हावें एवढ्याच करितां आहे. हा विचार झाल्यानंतर उष्णमानांत फेरफार केल्यानें त्यांच्या आकारमानावर काय परिणाम होतात, या प्रश्नाचा उलगडा मागाहून करूं.

दाब ह्मणजे काय हें आपणास प्रथमतः स्पष्ट समजलें पाहिजे.

६९. **दाब ह्मणजे काय व तो मापावा कसा?**—आतां दाबाचा अर्थ आपण काय समजतों, व तो कसा मापितों याचा विचार करूं.

थोडासा विचार केला असतां आपणांस असें दिसून येईल कीं, दाब या शब्दांत दोन कल्पना गर्भित असतात. एक वजनाची, आणि दुसरी हें वजन ज्या क्षेत्रावर दाबीत आहे, त्या क्षेत्राची.

यास्तव वाफेच्या यंत्राच्या तापकाच्या आंतील बाजूवर वाफेचा दाब किती आहे, याची बरोबर कल्पना मनांत येण्यास प्रत्येक चौरस इंच क्षेत्रावर किती पौंडांचा दाब पडतो, हें समजणें जरूर व बस असतें.

हें आपणास समजलें म्हणजे तापकाचें भांडें किती जोराचें असलें पाहिजे, आणि विवक्षित क्षेत्राचा दट्ट्या वर उचलण्यास किती शक्ति लावितां येईल, याचा हिशेब करण्यास जें आपणास पाहिजे तें सर्व कळेल.

म्हणून 'दर चौरस इंचावर अमुक दाब आहे,' या रीतीनें दाब दर्शवितात, आणि मापितात.

नापकाच्या माथ्यावर जर एक विवक्षित क्षेत्राचें शंकाकार भोंक पाडिलें, आणि त्यामध्यें शंक्वाकार धातूचा तुकडा असा बरोबर बसता केला कीं, त्यास आंत जातां येऊं नये, परंतु बाहेर मात्र निघतां यावें, आणि त्यावर एखादें वजन ठेविलें, तर त्या वजनासकट गुडदीस वाफेचा जो दाब वर उचलूं शकेल, तो दर चौरस इंचावर अमुक पौंडांचा आहे, असें आपणास कळेल.

याप्रमाणें आकृतींत AB भोंकाचें क्षेत्र जर २ चौरस इंच असलें आणि वजन ९० पौंडांचें असलें, तर या वजनास उचलण्यास जो वाफेचा दाब लागेल, तो $\frac{९०}{२}$=३० पौंडांचा दर चौरस इंचावर असला पाहिजे (आ. ४१ पहा).

A B

आकृति ४१ वी.

टीप—या ठिकाणीं हवेच्या दाबाचा आपण विचार करीत नाहीं. त्याविषयीं लौकरच पुढें विचार करूं.

याच तत्वावर वाफेच्या यंत्राचे **रक्षक पडदे** केलेले असतात.

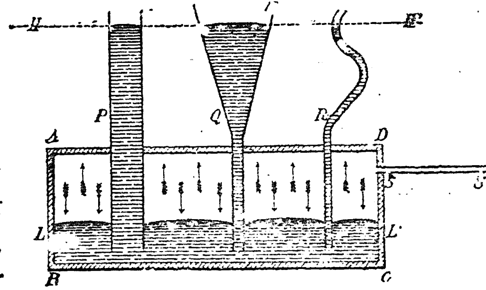
७०. **दाब मापण्याची दुसरी रीती**—दर चौरस इंचावर अमुक पौंड दाब या रीतीनें व्यवहारांत सहज रीतीनें नेहमी दाब मापितां येत नाहीं. याहून अधिक सोईची दाब मापण्याची रीति आहे, तिजविषयीं आतां वर्णन करूं. ही रीति सकृद्दर्शनीं जरी कांहींशी भिन्न दिसते, तथापि ती मागील रीतीसारखीच आहे.

अशी कल्पना करा कीं क्षितिजपातळीशीं समांतर असा सपाट पृष्ठभाग आहे, व त्यावर कांहीं दाबाचें कार्य होत आहे. आपल्या मर्जीस आल्यास पृष्ठभाग एकाद्या भांड्याचा तळ करून त्या भागांत नियमित खोलीचा एखादा द्रव भरून हा दाब आपणास उत्पन्न करितां येईल.

जो आपला पृष्ठभाग आतां भांड्याचा तळ झाला आहे, त्यावरील दाब भांड्यांतील द्रवाच्या केवळ जडपणावर किंवा दार्ढ्यावर आणि लंबोत्तर उंचीवर अवलंबून असेल. जर आपण नेहमी एकाच द्रवाचा, उदाहणार्थ पाण्याचा उपयोग करावा, असा निश्चय केला, तर भांड्याच्या बुडावरील दाब त्या द्रवाच्या म्हणजे पाण्याच्या केवळ उंचीवर अवलंबून असेल, असें आपणास म्हणतां येईल. म्हणजे दर चौरस इंचावर अमुक पौंड अशा रीतीनें दाब मोजावयाचा तो अमुक उंचीचा पारा अशा रीतीनें कोणताही दाब मोजतां येईल.

या रीतीनें दाब मापण्यांत अशी सोय असते, कीं, या ठिकाणीं एकच आणि ती फार साधी म्हणजे लंबोत्तर उंचीमात्र मापावयाची असते. याचें उदाहरण दिलें म्हणजे हें अधिक स्पष्ट समजेल.

A B C D ही एक लोखंडी पत्र्याची बळकट पेटी आहे, व तिजमध्यें S S या नळीनें वाफ सोडलेली आहे. P Q R या निरनिराळ्या आकाराच्या व आकारमानाच्या नळ्या पेटीच्या वरच्या झांकणांत वाफ आंत बाहेर न जाण्याजोग्या गच्च बसाविलेल्या आहेत, व त्या पेटीच्या बुडापर्यंत गेलेल्या आहेत.



आकृति ४२ वी.

त्यांचीं दोन्ही तोंडें उघडीं आहेत; पेटीच्या बुडावर कांहीं पारा आहे, त्या पाऱ्यांत या नळ्यांचीं तोंडें बुडालेलीं राहतात. (आ० ४२ पहा.)

पेटींत वाफ किंवा आकुंचित केलेली हवा सोडली तर तिचा दाब पेटीच्या बाजूवर आणि बुडावरील LL′ या पाऱ्याच्या पृष्ठभागावर नियमित प्रमाणानें पडेल, व त्याच्या योगानें P, Q, R या नळ्यांमध्यें नियमित उंचीवर पारा चढेल. ही उंची दाबाच्या जास्तकमी मानावर अवलंबून असेल.

ह्या नळ्यांचा कसाही आकार असला व त्यांचें आकारमान केवढेंही असलें, तरी सर्वांमध्यें पेटींतील पाऱ्याच्या पृष्ठभागावर सारख्या उंचीपर्यंत पारा चढेल. ही उंची दाबाच्या जास्तकमी मानावर अवलंबून असेल.

ह्या नळ्यांचा कसाही आकार असला, व त्यांचें आकारमान केवढेंही असलें, तरी सर्वांमध्यें पेटींतील पाऱ्याच्या पृष्ठभागावर सारख्या उंचीवर पारा चढेल. म्हणून ही लंबोत्तर उंची पाऱ्यावरील दाब मापण्यास घेतां येईल.

प्रयोग—ही गोष्ट सहजीं दाखवितां येते. एक जस्ती डबा घेऊन त्यास रबरी बुचाच्या योगानें नळ्या गच्च बसवाव्या, आणि S S′ या नळींतून पेटींत हवा फुंकावी. पाऱ्याच्या बदला पेटींत रंगविलेलें पाणी भरावें, म्हणजे तें पुष्कळ हलकें असल्यानें जास्त उंचीवर चढवितां येईल.

७१. **दोहों रीतींमधील संबंध**—असें आपण पाहिलें कीं, विवक्षित दाब दर चौरस इंचावर अमुक पौंड आहे असें सांगितलें असतां त्यास पाऱ्याच्या उंचींत कसें दर्शवितां येईल, याचा आतां आपण विचार करूं. याकरितां एका चौरस इंचावर एक पौंड दाब पडण्यास एका चौरस इंचावर किती उंचीचा पारदस्तंभ असला पाहिजे, एवढेंचमात्र आपणास काढिलें पाहिजे. चौरस इंचावर जो पारदस्तंभ असेल त्याचें वजन मात्र त्यावर पडेल हें उघड आहे, आणि पाऱ्याचें दाढर्य माहीत असल्यावरून पारदस्तंभाची उंची जवळ जवळ २ इंच असली पाहिजे हें एकदम आपणास समजतें.

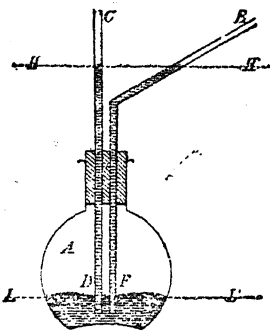
टीप—पृथ्वीच्या निरनिराळ्या पृष्ठभागावर पदार्थांचें वजन सारखें नसतें ही गोष्ट आपण या ठिकाणीं हिशेबांत घेत नाहीं.

म्हणून दर चौरस इंचावर एक पौंडाचा दाब २ इंच उंचीच्या पाऱ्याबरोबर असतो, असें आपणास म्हणतां येईल. ह्मणून ३० इंच उंचीचा पारा असला तर दर चौरस इंचावर १५ पौंडांचा दाब पडेल.

किंवा पारदस्तंभाच्या नियमित उंचीनें जर दाब मापिला असला, तर त्याच्या निमपटी इतक्या पौंडांचा दाब दर चौरस इंचावर पडेल असें ह्मणतां येईल.

पाऱ्याच्या बदला जर आपण पाणी घेतलें तर पाणी पाऱ्याहून १३ पट हलकें असल्यामुळें दर चौरस इंचावरील १ पौंडाचा दाब दर्शविण्यास २६ इंच उंचीचें पाणी घ्यावें लागेल.

प्रयोग—A या एका बाटलीच्या तोंडास गच्च बसणाऱ्या बुचांतून CD आणि EF या दोन नळ्या बसविलेल्या आहेत. कुपींत थोडासा पारा आहे, व त्या पाऱ्यांत दोहों नळ्यांचीं कुपींतील तोंडें बुडालेलीं आहेत. (आ. ४३ पहा) जर आपण कुपींत खूब जोरानें हवा फुंकली तर नळीजवळून तोंड काढतांच आकुंचित झालेली हवा पाऱ्यास दोहों नळ्यांत कुपींतील पाऱ्याच्या LL′ पृष्ठभागावर HH′ या लंबोत्तर उंचीपर्यंत लोटील. ही लंबोत्तर उंची किती इंच आहे हें जर आपण मापिलें तर ह्या हवेचा दाब दर चौरस इंचावर किती पौंड आहे हें सहज सांगतां येईल. साधारण प्रतीच्या जोरानें फुंकलें असतां ५ किंवा त्याहून कमी उंचीचा पारा चढवितां येतो. ह्मणजे दर चौरस इंचावर २½ किंवा कमी पौंडांचा दाब पाडितां येतो.



आकृति ४३ वी.

वातावरणाचा दाब.

७२. **वातावरणापासून उत्पन्न झालेला दाब**—वायूंवर दाबाचे जे परिणाम घडतात, त्याविषयींच्या सर्व प्रयोगांत वायूंवर जो आरंभीं दाब असतो, तो हिशेबांत घेणें जरूर असतें. आपण ज्या वातावरणाच्या समुद्रांत राहतों तो आपणावर कित्येक मैल उंचीपर्यंत असून त्याच्या वजनामुळें आपणावर त्याचा कांहीं दाब पडतो, व त्याचप्रमाणें त्यांत असलेल्या दुसऱ्या सर्व वायूंवरही पडतो.

हवेचें वजन—हवेस वजन आहे, हें सहज दाखवितां येतें. कारण जर आपण एका कांचेच्या भांड्यांतील हवा काढून घेऊन वजन केलें, तर तें हवेनें भरलेल्या भांड्याच्या वजनापेक्षां कमी भरतें; आणि तसेंच भांड्यांत आहे त्याहून त्यांत आणखी हवा घालून त्याचें वजन वाढवितांही येतें.

७३. हा दाब साधारणपणें समजत नाहीं याचें कारण—वातावरणापासून जो दाब आपणावर पडतो तो आपणास बहुतकरून समजत नाहीं याचें कारण काय असावें असा प्रश्न स्वाभाविक उत्पन्न होतो. जर एका कांचेच्या पंचपात्राच्या तोंडावर अगदीं पातळ त्वचेचा तुकडा ताणला तरी तो या दाबानें खालीं चेपला जात नाहीं किंवा ढोलक्याच्या बाजू आंत दबत नाहींत.

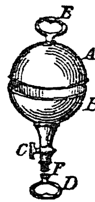
याचें उत्तर फक्त हें आहे: कांचेचें पंचपात्र, ढोलकें, आणि आपण सर्व प्राणी यांच्या सर्व पोकळ भागांत हवा भरलेली आहे. ही हवा आपल्या सभोंवतीं असलेल्या हवेपैकींच असून बाहेरच्या हवेच्या दाबानें इतकी चेपलेली आहे कीं, तिला आपल्या स्थितिस्थापकतेनें उलट तितकाच दाब घालतां येतो. यामुळें ढोलक्याचें कातडें आंतल्या हवेनें समतोल धरलेलें असतें. व आंतल्या हवेचें कार्य कमानीसारखें होतें.

एका दारावर दोहोंबाजूंनीं ६।६ मनुष्यें एकमेकांकडे दाबूं लागलीं, आणि त्यांचा जोर सारखा असला तर कोणत्या तरी एका बाजूकडील कांहीं माणसें गेल्याशिवाय त्यांच्या शक्तीचें दारावर कांहीं कार्य नजरेस पडणार नाहीं. त्याचप्रमाणें ढोलक्याच्या कातड्याच्या दोहों बाजूंस सारखा दाब असतो ह्मणून तो कळत नाहीं.

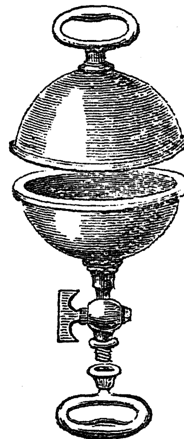
जे लोक विमानांतून वर जातात, त्यांस बाहेरील दाब उंच प्रदेशीं कमी झाल्यामुळें फार हाल सोसावे लागतात. कारण (बराच वेळ) त्यांच्या शरीरांतील वायूचा दाब मूळच्या इतकाच असतो, व बाहेरील दाब मात्र कमी होतो. त्याचप्रमाणें पाणबुडे खोल पाण्यांत गेले ह्मणजे बाहेरील दाब वाढल्यामुळें त्यांस इजा होते.

७४. वातावरणाच्या दाबाचें अस्तित्व सिद्ध करण्याकरितां प्रयोग—वाताकर्षक यंत्रानें कृत्रिमरीत्या बाहेरील दाब काढितां येतो, व जी हवा आंतून कमानीसारखें कार्य करिते, तिलाही आंतून काढितां येतें, आणि असें केलें ह्मणजे हवेच्या दाबाचें आपणास ज्ञान होतें.

प्रयोग १. गोलार्धें—A आणि B हीं दोन अशीं गोलार्धें आहेत कीं, त्यांस एकमेकांवर गच्च बसवितां येतें. एकमेकांवर गच्च बसणाऱ्या त्यांच्या तोंडास लुकण लावून त्यांस एकमेकांवर बसवावें. प्रत्येकास मूठ आहे, परंतु एकाची D मूठ काढून B अर्धाचें F टोंक वाताकर्षक यंत्राच्या तबकडीवर बसवितां येतें, आणि दोहों अर्धांतील हवा याच द्वारानें काढून घेतां येते. हवा काढिल्यावर हें द्वार C मळसूत्र फिरवून बंद करितां येते. (आकृति ४४ व ४४ अ पहा.)



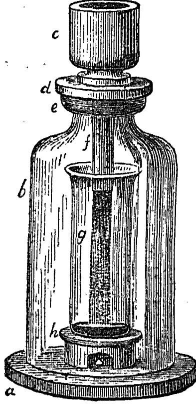
आ० ४४ वी.


आ. ४४ अ.

अर्धें एकमेकांवर बसवून F द्वारानें त्यांतील हवा काढून घ्यावी, आणि D मूठ बसवावी. आतां दोहों अर्धांस एकमेकांवर गच्च धरणारा जो वातावरणाचा दाब आहे, त्यास आंतून

उलट तोलून धरण्यास आंत कांहीं नाहीं. ह्मणून जर तीं बऱ्याच मोठ्या आकाराचीं असलीं तर त्यांस एकमेकांपासून वेगळें करितां येत नाहीं.

प्रयोग २.—अर्धवट भरलेली त्वचेची पिशवी किंवा कोमेजलेलें लिंबू वाताकर्षक यंत्राच्या तबकडीवरील ग्राहकांत ठेविलें, आणि ग्राहक रिता करून पिशवीवरील हवेचा दाब कमी केला, तर पिशवी फुगून ताठेल.



आ. ४४ ब.

हे व दुसरे प्रयोग यांच्या योगानें पदार्थांच्या पोकळ अवकाशांत जी हवा असते तिची स्थितिस्थापकता दाखवितां येते.

प्रयोग ३.—वाताकर्षक यंत्रावर बसविण्याचा सोईचा ग्राहक घेऊन हवेच्या दाबानें लांकडांतून पारा बाहेर निघतो हेंही दाखवितां येतें. (आ० ४४ ब.)

७५. **वातावरणाचा दाब मापणें**—हा जो वातावरणाचा दाब असतो असें आतां दाखविलें तो दाब मापावा कसा या महत्त्वाच्या प्रश्नाचा आतां विचार करूं. हा दाब दर चौरस इंचावर किती पौंड आहे किंवा किती उंचीच्या पाऱ्याबरोबर आहे हें आपणास काढणें आहे.

दर चौरस इंचावर दाब किती हें आपणास अनेक रीतींनीं सहज काढितां येईल असें वाटतें. परंतु त्याप्रमाणें हवेचा प्रत्यक्ष दाब काढणें तितकें सोपें नाहीं. या ठिकाणीं हा दाब तोलून धरण्यास किती इंच उंचीचा पारदस्तंभ लागतो, हें काढण्याची एक सोपी रीती आहे, त्या रीतीनें हा दाब प्रथमतः काढूं म्हणजे त्यावरून दर चौरस इंचावर किती पौंडांच्या दाबाबरोबर हा दाब आहे हें आपणास सहज कळेल. L L′ हें

E
A B
L L′

आ० ४५ बी. एक पाऱ्यानें भरलेलें भांडें घेऊं आणि त्यांत एक दोहों तोंडांनीं उघडी व एक वरच्या तोंडानें बंद अशा दोन नळ्या बुडवूं. (आ० ४५ पहा.)

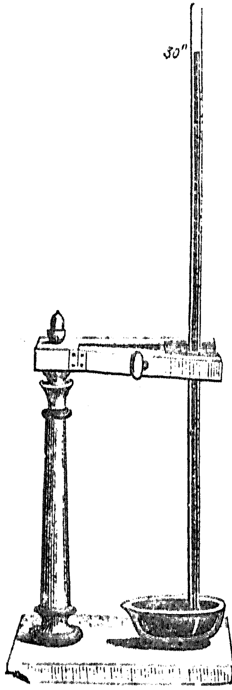
L L′ भांड्यांतील पाऱ्याच्या पृष्ठभागावर जो वातावरणाचा दाब आहे त्यानें नळ्यांमध्यें पारा चढत नाहीं. कारण A नळींत वरून तेंच वातावरण दाबीत आहे, आणि B नळींत कोंडलेली हवा आहे, ती आपल्या स्थितिस्थापकतेनें हवेच्या दाबाइतका दाब पाडीत आहे.

यास्तव या रीतीनें वातावरणाचा दाब मापण्यास नळींतील हवा आपणास काढून टाकिली पाहिजे.

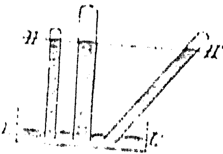
B नळीच्या E माथ्यावर जर भोंक पाडिलें व तेथून एका दुसऱ्या नळीनें वाताकर्षक यंत्रास B नळी जोडली, आणि B नळींतील हवा हळू हळू काढून घेतली, तर हवा काढून घेतल्यावर नळीच्या आंतील दाब जसजसा कमी होईल त्याप्रमाणें पाऱ्याच्या LL′ पृष्ठभागावरील बाह्य दाबानें नळींत पारा अधिक अधिक उंच चढेल. भांड्यांतील म्हणजे नळींतील पाऱ्याच्या पृष्ठभागावर नियमित दाब आहे, व ह्या दाबा-

इतकाच दाब उत्पन्न करण्यापुरता नळींत पारा उंच चढेल. नळी कितीही उंच असली तरी याहून जास्त चढणार नाहीं. ही उंची लंबोत्तर, सुमारें ३० इंच असते, असें आपणास आढळेल, आणि एवढ्या उंचीच्या पाऱ्यानें दर चौरस इंचावर सुमारें १५ पौंडांचा दाब पडेल. परंतु याहून अधिक सोप्या रीतीनें खालीं लिहिल्याप्रमाणें हवा आपणास काढून घेतां येते.

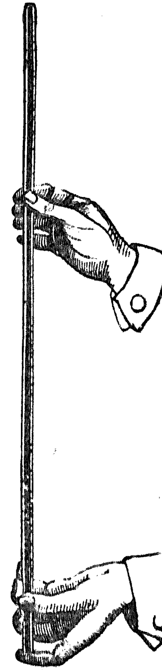
प्रयोग--एका बाजूनें बंद व ३० इंचांहून लांब अशी एक भारमापकाची भक्कम नळी घे, आणि तींत पारा भर. तिचें तोंड वर धरून तिजमधील सर्व हवा घालीव. पाऱ्यांतील सर्व हवा घालविण्यास पारा कढवावा लागतो. नंतर उघडें तोंड बोटानें बंद करून नळी उलटी करावी (आ. ४६ अ). आणि पेल्यांतील पाऱ्याच्या पृष्ठभागाखालीं उघडें तोंड नेऊन बोट काढावें, म्हणजे पारा नळींत पेल्यांतील पाऱ्याच्या पृष्ठभागावर लंबोत्तर असा सुमारें ३० इंच उंचीवर राहील. नळी लहान मोठी व कोणत्याही आकाराची असली व कितीही कललेली असली तरी तिजमधील पारदस्तंभाच्या माथ्याची उंची बरोबर ३० इंच असेल (आ. ४६ व ४६ ब पहा).



आ. ४६ ब.



आकृति ४६.





आ. ४६ अ.

आतां आपण नळींत हवा ठेविली नाहीं. यास्तव आतां नळींतील पाऱ्यावर कशाचाही दाब नाहीं. यास्तव दोन वस्तु आतां अगदीं समतोल आहेत:—नळींतील पारदस्तंभ आणि बाहेरील हवेचा दाब.

म्हणजे हवेचा दाब या ठिकाणीं आपण मापिला, आणि तो सुमारें ३० इंच उंचीच्या पाऱ्याइतका भरला. किंवा दर चौरस इंचावर १५ पौंड झाला. या यंत्रास भारमापक म्हणतात.

७६. **म्यारिअट किंवा बाईल याचा सिद्धांत.**—कोणती गोष्ट समजून घेण्याची आपली इच्छा आहे, तें आपल्या लक्षांत असलें पाहिजे. वायूच्या आकारमानावर उष्णमानाचे काय काय परिणाम होतात, हें आपणास समजून घेणें आहे. परंतु प्रथमतः वायूवर केवळ दाबाचा काय परिणाम होतो, याचा विचार करणें जरूर पडलें. दाब मापावा कसा, आणि ज्या वातावरणांत आपले सर्व प्रयोग चालवयाचे त्यांचा दाब किती आहे हेंही काढिलें. आतां अखेरीस कोणत्याही वायूवर जो दाब पडतो त्याचा वायूच्या आकारमानाशीं काय संबंध असतो, याविषयींचा जो सिद्धांत त्याचा आतां विचार करूं.

विवक्षित आकारमानाच्या वायूस जर जोरानें दाबिलें तर तो चेंपला जाऊन त्याचें आकारमान कमी होतें, हें सर्वांस माहीत आहे. त्याचप्रमाणें जर वायूवरचा दाब कमी केला तर वायूचा आकार वाढतो.

म्यारिअट आणि **बाइल** यांनीं जो सिद्धांत शोधून काढिला त्यावरून दाब आणि आकारमान यांमधील संबंध बरोबर समजतो.

“ जर दाबास कोणत्याही संख्येनें गुणिलें तर आकारमानास त्या संख्येनें भागिलें पाहिजे ; आणि दाबास कोणत्याही संख्येनें भागिलें तर त्या संख्येनें आकारमानास गुणिलें पाहिजे; मात्र या वेळीं उष्णमान समान आहे, असें कल्पिलें पाहिजे.”

ह्मणजे ‘ उष्णमान समान असतां दाब जितक्या पटीनें वाढवावा, तितक्या पटीनें आकारमान कमी होतें.’

टीप—हा सिद्धांत स्थूलमानानें मात्र खरा आहे. परंतु या पुस्तकांत हा सिद्धांत अगदीं खरा आहे, असें घेऊन चालूं. कारण आपण जें विवेचन करणार त्यापुरता हा सिद्धांत पुष्कळ खरा आहे.

७७. जर **द** आणि **आ** हीं अक्षरें दाब आणि आकारमान दाखविण्यास घेतलीं, आणि **न** अक्षर एक नियमित संख्या दर्शविण्यास घेतलें, तर वरील सिद्धांत खालील सारणीनें दर्शवितां येतो.

द × आ = न. (उष्णमान समान असतां) किंवा $द_0$ आणि $आ_0$ या संज्ञा आरंभींचा दाब व आरंभींचें आकारमान दर्शविण्यास घेतल्या तर,

$$द_0 \times आ_0 = न.$$

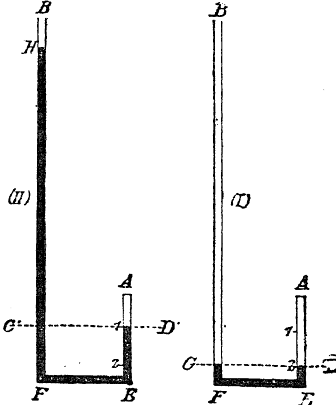
$$\text{ह्मणून } द_0 \times आ_0 = द \times आ.$$

७८. **म्यारिअटचा सिद्धांत सिद्ध करण्याकरितां प्रयोग**—वर जें सांगितलें त्यावरून असें झालें कीं, जर द,ब १० पट वाढविला, तर आकारमान $\frac{१}{१०}$ होईल; ह्मणजे १० वा हिसा होईल.

या सिद्धांताविषयीं प्रयोगद्वारा रेग्नाल्ट यानें फार विचार केला आहे.

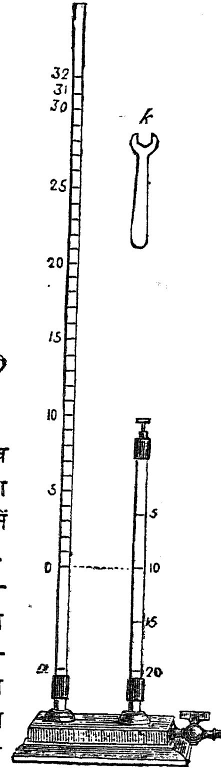
याची सत्यता दाखविण्याकरितां येथें फक्त दोन प्रयोग देऊं.

प्रयोग १. वायूचा आकार निमा होण्यास त्याजवरील दाब दुप्पट करावा लागतो हें प्रथमतः दाखवूं. B F E A ही एक वांकडी नळी (आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें) आहे. (आ० ४७ पहा). या प्रकारच्या चांगल्या यंत्रांत B F आणि A E या दोन वेगळ्या नळ्या असून एका लोखंडी बैठकींत स्क्रूनें बसविलेल्या असतात, आणि त्यांस जोडणारी बैठकींतच E F ही नळी असते; आणि A आणि E ठिकाणीं हवा आंत बाहेर न जाण्याजोगीं मळसूत्रें असतात; त्यांच्या योगानें हवा व पारा यांस आंत बाहेर सोडितां येतें. (आ० ४७ अ).



आकृति ४७ वी.

या प्रयोगांत प्रथमतः उजवी कडच्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें पारा भरून A ठिकाणचें मळसूत्र बंद करावें. या छोट्या नळींत कांहीं हवा कोंडलेली आहे; व ती दोन आकारमानें जागा व्यापीत आहे. हीं आकारमानें २ घनइंच किंवा दुसरीं कांहीं तरी असतील. आपणास एवढेंच पाहिलें पाहिजे कीं A पासून I पर्यंत जितका अवकाश आहे, त्याच्या दुप्पट 1 पासून 2 पर्यंत आहे.



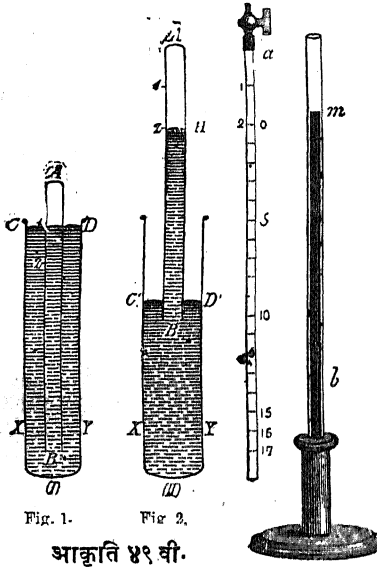
आ० ४७ अ.

क्षितिजपातळीशीं समांतर अशा C D रेषेखालीं पारा आहे; आणि ज्यापेक्षां दोहों नळ्यांत पारा सारख्या उंचीवर आपण आणलेला आहे, त्यापेक्षां प्रकरण ३ यांत सांगितल्याप्रमाणें आपणास माहीत आहे कीं, दोहों नळ्यांतील पारा परस्परांस समतोल धरीत आहे. यास्तव छोट्या नळींतील २ आकारमानें हवा केवळ हवेच्या दाबाखालीं आहे. B F या उघड्या नळींत नळींतील पाऱ्यावर हवा दाबीत आहे, व तो दाब पाऱ्यांतून दुसऱ्या नळींत जात आहे. भारमापकानें आपणास हा दाब मापितां येईल.

असें समजूं कीं, हा दाब मापिला तो २९ इंच पाऱ्याइतका भरला. म्हणजे दर चौरस इंचास १४½ पौंड भरला. आतां २ आकारमानें हवा २९ इंच पाऱ्याच्या दाबाखालीं आहेत. A E नळींतील हवा निमे आकाराची होईपर्यंत B F नळींत पारा ओतूं. आतां ती हवा किती दाबाखालीं आहे, हें मापूं. आंखूड नळींतील पाऱ्याच्या

माथ्यापासून क्षितिजपातळीशीं समांतर अशी C D ही रेषा दोहों नळ्यांवर काढूं. या रेषेच्या खालचा पारा परस्पर समतोल आहे, हें आपणास माहीत आहे. C H पर्यंत जो पाऱ्याचा स्तंभ आहे, त्यास तोलून धरण्यास दुसऱ्या नळींत पारा नाहीं. म्हणून या स्तंभामुळें जो दाब पडतो, तो आंखूड नळींतील हवेवर पाऱ्यांतून जातो. याशिवाय B H या उघड्या नळींतील पाऱ्यावर जो हवेचा दाब आहे तोही पाऱ्यांतून A E नळींत जातो, व तोही A 1 हवेनें तोलून धरिला आहे. C′ पासून H पर्यंत जर लंबोत्तर उंची मोजली, तर तीही २९ इंच आहे ह्मणून AD नळींतील A 1 हवेवर एकंदर २९+२९=५८ इंच दाब आहे. म्हणजे दोन आकारमानाचें एक आकारमान करण्यास दुप्पट दाब घालणें जरूर आहे, असें आपणास कळलें. मात्र या वेळीं उष्णमान समान आहे, असें आपण मानतों.

जर मूळचा हवेचा दाब ३० इंच असता तर C′ H ही उंची ३० इंच असावी लागती. मागें सांगितल्याप्रमाणें विवक्षित वायूवर दाबाचा परिणाम पाहण्यास प्रयोग करितेवेळीं आपणास त्या विवक्षित वायूवर हवेचा दाब किती आहे हें समजण्याची जरूर असते, असें आपणास येथें कळलें.



आकृति ४९ वी.

४९ अ.

प्रयोग २. विवक्षित वायूचा आकार दुप्पट करण्यास त्यावरील दाब निमा केला पाहिजे, हें प्रयोगद्वारा दाखविण्यास आतां आपण यत्न करूं.

पूर्वीप्रमाणें येथेंही हा प्रयोग दाखविण्यास २ आकृति घेऊं. XY ही रुंद तोंडाची व बुडाशीं बंद अशी एक नळी आहे. (आ. ४९ पहा) A B ही याहून बारीक नळी असून A माथ्यापाशीं तिला मळसूत्र आहे, हें दुसऱ्या आकृतींत दाखविलें आहे.) (आ. ४९ अ.) आणि B बुडाशीं उघडी आहे. पहिल्या आकृतींत प्रयोगाचा आरंभ दाखविला आहे. येथें A ठिकाणचें मळसूत्र फिरवून द्वार खुलें करूं, आणि थोरल्या नळींत बारिक नळी सारून दोहोंत पारा सारख्या पातळीवर बारिक नळीवरील १ खुणेपर्यंत आणूं. नंतर मळसूत्र फिरवून द्वार बंद करूं. आतां आकच्या नळींत एक भाग हवा आहे, आणि तिजवर फक्त हवेचा मात्र दाब आहे, कारण बारीक नळींत पारा तिच्या बाहेरील पाऱ्याच्या पातळींत आहे, ह्मणून नळींतील हवेचा दाब बाहेरील हवेच्या

दाबास तोलून धरीत आहे. हवेचा दाब पान्यामधून B नळीच्या उघड्या तोंडांतून A B नळींतील हवेवर पडत आहे. असें समजूं कीं, हा दाब पूर्वीप्रमाणें २९ इंच पान्याएवढाच आहे. आतां बारीक नळींतील हवा प्रसरण पावून नळींतील २ या खुणेवर येईपर्यंत बारीक नळी पान्यांतून वर उचलूं. आतां बारीक नळीमध्यें जी १ आकारमान हवा होती ती २ आकारमानें झाली आहे. आतां तिजवर दाब किती आहे हें पाहूं. बारीक नळींत पारा चढला आहे, आणि थोरल्या नळींतील C′ D′ पान्याच्या उंचीवर H C′ पान्याची उंची बारीक नळींत आहे. H पासून C′ D′ पृष्ठभागापर्यंत जो पान्याचा स्तंभ आहे त्यास दुसऱ्या पान्यानें तोलून धरिलें नाहीं. म्हणून त्याचा दाब बारीक नळींतील हवेबरोबर थोरल्या नळींतील पान्यावर दाबीत आहे, व हे दोन्ही दाब नळीबाहेरील हवेच्या दाबानें तोलून धरिले आहेत. ही जर उंची मोजली तर १४½ इंच आहे असें आपणास आढळेल. यास्तव असें आपणास समजलें कीं, नळीबाहेरील हवेचा दाब किंवा २९ इंच पारा यास १४½ इंच पारा आणि A नळींतील २ आकारमानें हवेचा दाब यांनीं तोलून धरिलें आहे. म्हणून A मधील २ आकारमानें हवा १४½ इंच पान्याचें काम करीत आहे, किंवा तिचा दाब १४½ इंच पान्याइतका पडत आहे.

म्हणजे उष्णमान समान असतां हवेचें आकारमान दुप्पट करणें झाल्यास तिचा दाब निम्मा करावा लागतो, किंवा हवेचा आकार दुप्पट झाल्यास तिचा दाब निम्मा होतो.

याप्रमाणें या दोन्ही रीतींनीं म्यारिअटच्या सिद्धांताचा खरेपणा प्रयोगद्वारा स्थापित केला.

७९. **दाब आणि दार्ढ्य**—निरनिराळ्या स्थितींत वायूचीं दार्ढ्यें समजण्याची आपणास पुष्कळ वेळां अपेक्षा असते. दाबानें वायूच्या दार्ढ्यांत काय फेरफार होतो. याचा आतां आपण विचार करूं; आणि या प्रसंगींही इतर ठिकाणीं ज्या प्रमाणें कल्पिलें आहे, त्याप्रमाणें उष्णमान समान आहे असें कल्पूं.

आतां विवक्षित आकारमानामध्यें वायूचें जें परिमाण असतें त्यावर त्याचें दार्ढ्य अवलंबून असतें; व त्यावरून दार्ढ्य मापितांही येतें. विवक्षित आकारमानाच्या वायूस दाबून जर त्याचा आकार निमा केला, तर त्याचें दार्ढ्य दुप्पट होतें, आणि त्याच वायूचा आकार ५ पट होईपर्यंत त्यास प्रसरण होऊं दिलें तर त्याचें दार्ढ्य ५ पट कमी होतें; म्हणजे $\frac{१}{५}$ राहतें. यास्तव हें उघड आहे कीं, दार्ढ्यास कोणत्याही संख्येनें गुणिलें तर आकारमानास त्याच संख्येनें भागिलें पाहिजे; आणि विवक्षित संख्येनें आकारमानास गुणिलें तर त्याच संख्येनें दार्ढ्यास भागिलें पाहिजे. यावरून असें निष्पन्न झालें कीं, दाब वाढला म्हणजे दार्ढ्य वाढतें, आणि दाब कमी झाला म्हणजे दार्ढ्यही कमी होतें.

८०. याचा अर्थ असा कीं, आकारमानाच्या व्युत्क्रम प्रमाणांत, आणि दाबाच्या सम प्रमाणांत दार्ढ्य असतें. दार्ढ्य दर्शविण्यास ढ अक्षर घेऊं.

पूर्वीं असें सिद्ध केलें कीं, $द \times आ = न = द_0 \times आ_0$.

आतां असें सिद्ध केलें कीं, $ढ \times आ = ह = ढ_0 \times आ_0$.

$$\text{आणि } ढ = लद.$$

$$\text{किंवा } \frac{ढ}{द} = ल = \frac{ढ_0}{द_0}$$

८१. **उदाहरणें सोडविणें**—दाब आणि आकारमान यांचीं उदाहरणें साध्या त्रैराशिकाच्या उदाहरणांप्रमाणें करितात. मूळचें आकारमान व मूळचा दाब यांच्या गुणाकारास नवें आकारमान किंवा नवा दाब यानें भागिलें म्हणजे दुसरें अव्यक्त समजतें.

उदाहरण १—दर चौरस इंचावर १५ पौंडांचा दाब असतां कांहीं वायूचें आकारमान १२ ग्यालन आहे. तर दर चौरस इंचावर ७० पौंड दाब झाल्यास त्याचें आकारमान काय होईल?

या स्थळीं म्यारिअटच्या सिद्धांतावरून मूळच्या आकारमानापेक्षां नवीन आकारमान कमी होईल; ह्मणूनः—

$$\text{उत्तर}, \frac{१२ \times १५}{७०} = \frac{१८}{७} = २\frac{४}{७} \text{ ग्यालन}.$$

उदाहरण २—जेव्हां भारमापकांतील पारा ७६० सहस्रांश मात्रा (सश. मा.) उंचीवर होता, तेव्हां आक्सिजन काढिला, तो ६ लिटर भरला. तर जेव्हां भारमापक ७२० सश. मा. वर उतरलें, तर त्या वायूचा आकार काय होईल ?

नवीन दाब कमी आहे म्हणून नवीन आकारमान मोठें होईल. ह्मणून उत्तर= $\frac{६ \times ७६०}{७२०} = \frac{१९}{३} = ६\frac{१}{३}$ लिटर.

उदाहरण ३—भारमापकांत पाऱ्याची उंची ३० इंच असतां विवक्षित हवेचें जें दार्ढ्य असेल त्याची, त्याच हवेचें २० इंच दाब असतां जें दार्ढ्य होईल त्याशीं तुलना कर.

दाब वाढला असतां दार्ढ्यही वाढतें.

$$\frac{\text{३० इंच दाब असतां दार्ढ्य}}{\text{२० इंच दाब असतां दार्ढ्य}} = \frac{३०}{२०} = \frac{३}{२}.$$

उदाहरण ४—पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर ३० इंच उंचीच्या पाऱ्या इतका हवेचा दाब असतां एका विमानांत ६ घनफूट वायू भरला, आणि नंतर ज्या ठिकाणीं फक्त २० इंच दाब आहे, त्या ठिकाणीं विमान नेलें; तेव्हां तें बरोबर भरलें. तर पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर विमान भरलें तेव्हां किती रिकामी जागा ठेविली होती ?

नवीन दाब कमी आहे; म्हणून नवीन आकारमान मोठें असलें पाहिजे. म्हणून नवीन आकारमान $= \frac{६००० \times ३०}{२०} =$ ९००० घनइंच. यास्तव ३००० घनइंच जागा रिकामी सोडिली होती.

उदाहरण ५.—७६० सश. मात्रा दाब असतां कांहीं हैड्रोजनाचें आकारमान ६ घनफूट आहे. पुढें दाब बदलला तेव्हां आकारमान २६ घनफूट झालें. तर हा नवीन दाब किती असला पाहिजे ?

आकारमान वाढलें आहे. म्हणून दाब कमी असला पाहिजे. म्हणून उत्तर $= \frac{७४० \times ६}{२६} = \frac{२२२०}{१३} =$ १७०.६६९ सश. मा. दाब.

उदाहरण ६—पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर हवेचें दाढर्य १ आहे; व भारमापक ३० इंचांवर आहे. आतां एक मनुष्य विमानांतून कांहीं उंचीवर गेल्यावर तेथें हवेचें दाढर्य $\frac{१}{३}$ झालें. तर त्या वेळीं भारमापकाची उंची किती असेल ?

दाढर्य कमी झालें आहे, म्हणून दाबही कमी झाला पाहिजे. ∴ उत्तर $\frac{३० \times १}{३} =$ १० इंच.

टीप—या प्रकरणांत उष्णमान समान आहे, असें कल्पिलें आहे.

८२. म्यारिअटच्या सिद्धांताचा जास्त उपयोग—वरील सर्व उदाहरणें खालील सारणीनें ही सोडविता आलीं असतीं.

$$द \times आ = द_० आ_०.$$

पांचव्या उदाहरणांत.

$$द_० = ७४० \text{ सश. मा.}$$

$$आ_० = ६ \text{ घनफूट.}$$

$$आ = २६ \text{ घनफूट.}$$

$$\therefore द \times २६ = ६ \times ७४०.$$

$$\therefore द = \frac{६ \times ७४०}{२६} = १७०.७६९ \text{ सश. मा.}$$

एकाच भांड्यांत निरनिराळ्या दाबांचे व निरनिराळ्या आकारमानांचे अनेक वायु मिसळले असतां त्यांस हा सिद्धांत कसा लागू होतो, तें आतां सांगतों.

एका वायूचें आकारमान $आ_१$, दाब $द_१$ असतां.

दुसऱ्याचें ....$आ_२$..........$द_२$...

तिसऱ्याचें ....$आ_३$..........$द_३$...

असें कल्पूं कीं, हे सर्व वायु एका भांड्यांत मिसळल्यावर त्यांचें साधारण आकारमान आ होतें. व या मिश्रणाचा एकंदर दाब द होतो. तर द हा दाब $द'_१$, $द'_२$, $द'_३$, हे जे या वायूचे नवीन दाब पडतील, त्या सर्व दाबांच्या बेरजेबरोबर असेल.

हे सर्व वायु एकत्र मिसळलेले आहेत, तेव्हां प्रत्येक वायु सर्व आ आकारमानांत पसरला असावा. परंतु प्रत्येक वायूचें मूळचें आकारमान लहान असेल तर त्यास आ हें थोरलें आकारमान व्यापण्यास पुष्कळ प्रसरण व्हावें लागेल; आणि थोर असल्यास आकुंचित व्हावें लागेल. यास्तव दाब अनुक्रमें वाढेल, किंवा कमी होईल.

$आ_१$ $आ_२$, $आ_३$ आकारमानांचें आ आकारमान झाल्यास म्यारिअटच्या सिद्धांताप्रमाणें खालीं लिहिल्याप्रमाणें दाब बदलतील.

$$\left.\begin{array}{l} द_१ \times आ_१ = द'_१ \times आ \\ द_२ \times आ_२ = द'_२ \times आ \\ द_३ \times आ_३ = द'_३ \times आ \end{array}\right\} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (१)$$

इत्यादि

या स्थळीं सर्वांचें आकारमान आ हें सारखेंच आहे.

दोहों बाजूंची बेरीज करून.

$$द_१ \times आ_१ + द_२ \times आ_२ + द_३ \times आ_३ = आ \; (द'_१ \times द'_२ \times द'_३)$$

किंवा $\text{द}_{१} \times \text{आ}_{१} + \text{द}_{२} \times \text{आ}_{२} + \text{द}_{३} \times \text{आ}_{३} = \text{आ} \times \text{द}$.........(२)

या स्थळीं द मिश्र केलेल्या सर्व वायूंच्या दाबांबरोबर आहे.

आ आकारमानाच्या भांड्यांत निरनिराळे वायु मिश्र केले, आणि त्यांचीं मूळचीं आकारमानें व दाब माहीत असतील तर (२) या समीकरणावरून त्या मिश्रवायूचा दाब (द) किती पडेल हें काढितां येईल; किंवा त्याचा द दाब होण्यास त्यास कोणता आकार दिला पाहिजे, हें ही काढितां येईल. (१) या समीकरणांत निरनिराळ्या वायूंचे जे नवीन दाब पडतील ते आहेत.

(२) या समीकरणाचा उपयोग दाखविण्यासाठीं आपण दोन उदाहरणें सोडवूं.

उदाहरण १—ज्या भांड्याची पोकळी ६ लिटर आहे अशा भांड्यांत ३० इंच दाबाचा २ लिटर, ४० इंच दाबाचा ३ लिटर आणि १० इंच दाबाचा ८ लिटर वायु याप्रमाणें घातले, तर मिश्रणाचा दाब किती पडेल ? उष्णमान समान आहे.

$$(\text{द}_{१} \times \text{आ}_{१}) + (\text{द}_{२} \times \text{आ}_{२}) + (\text{द}_{३} \times \text{आ}_{३}) = \text{द} \times \text{आ}.$$

$$(\text{३०} \times \text{२}) + (\text{४०} \times \text{३}) + (\text{१०} \times \text{८}) = \text{द} \times \text{६}.$$

$$\therefore \text{द} = \frac{\text{२६०}}{\text{६}} = \text{४३}\frac{\text{१}}{\text{३}} \text{ इंच दाब.}$$

उदाहरण २—दरचौरस इंचावर २० पौंड दाबाचा ६ ग्यालन हैड्रोजन, आणि ३० पौंड दाबाचा १० ग्यालन नैत्रोजन, १५ पौंड दाबाचा ४ ग्यालन आक्सिजन, यांस एकत्र मिसळलें; आणि मिश्रणाचा दाब २५ पौंड असावा अशी इच्छा आहे, तर मिश्रणाचें आकारमान काय असलें पाहिजे? आणि हैड्रोजनाचा नवा दाब किती पडेल.

$$(\text{६} \times \text{२०}) + (\text{१०} \times \text{३०}) + (\text{४} \times \text{१५}) = \text{२५} \times \text{आ}.$$

$$\text{१२०} + \text{३००} + \text{६०} + = \text{२५} \times \text{आ}.$$

$$\therefore \text{आ} = \frac{\text{४८०}}{\text{२५}} = \text{१९}\frac{\text{१}}{\text{५}} \text{ ग्यालन.}$$

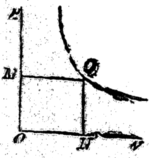
हैड्रोजनाचा दाब काढण्याकरितां

$$\text{द}_{२} \times \text{आ}_{२} = \text{दं}_{२} \times \text{आ}. \therefore \text{६} \times \text{२०} = \text{दं}_{२}\ \text{१९}\frac{\text{१}}{\text{५}}$$

$$\therefore \text{दं}_{२} = \frac{\text{६} \times \text{२०}}{\text{१९}\frac{\text{१}}{\text{५}}} = \frac{\text{२५}}{\text{४}} = \text{६}\frac{\text{१}}{\text{४}} \text{ पौंड दर चौरस इंचावर.}$$

८३. म्यारिअटचा सिद्धांत भूमितीनें दर्शविणें—पाण्याच्या प्रसरणाप्रमाणें म्यारिअटचा सिद्धांत भूमितीनें दाखवूं.

O P आणि O V या दोन रेषा परस्परांशीं काटकोन करणाऱ्या काढिल्या आहेत. O P शीं समांतर मापिलेलीं अंतरें दाब दर्शवितात, आणि O V शीं समांतर मापिलेलीं अंतरें त्यांचीं आकारमानें दर्शवितात, असें समजूं. तर ज्या वायूचें आकारमान O N आणि दाब O M आहे, असा वायु Q बिंदु दर्शवील. QN आणि Q M हे O V आणि O P यांवर लंब काढिलेले आहेत.



आकृति ४९ वी.

म्यारिअटचा सिद्धांत द × आ = न असा आहे. त्याप्रमाणें

भिन्न भिन्न दाब असतां विवक्षित वायूच्या द्रव्यसमुच्चयाची सारणी ON × OM = न असली पाहिजे. येथें न ही नियमित संख्या आहे.

यास्तव अनालिटिकल जामेट्रीवरून क बिंदु हैपरबला या शंकुछिन्नावर असला पाहिजे.

प्रकरण ४ यावर उदाहरणें.

(१). ३० इंच दाब असतां कांहीं वायु ८ घन इंच आहे. तर २८ इंच दाब झाला तर त्याचें आकारमान काय होईल?

(२). ७८० सश. मा. दाब असतां कांहीं हैड्रोजन ११० घनशतांश मात्रा आहे. तर ७६० सश. मा. हा प्रमाणभूत दाब असतां त्याचें आकारमान काय होईल?

(३) प्रमाणभूत दाबावर १०० घनशतांश मात्रा आकारमान व्हावें इतका वायु काढणें आहे. तर ४४० सश. मात्रा दाब असतां किती काढावा म्हणजे हवा तितका होईल.

(४) भारमापकाच्या नळींत कांहीं हवा राहिल्यामुळें पाऱ्यावरील रिक्तभाग ६ इंच उंचीचा असावयाचा तो $\frac{1}{10}$ इंचानें कमी होतो. आतां दाब वाढल्यामुळें पारा १ इंच चढला आहे. तर वास्तविक उंची किती कमी असेल?

(५) भारमापकाची उंची २९.९ इंच आहे; आणि पाऱ्याचें विशिष्टगुरुत्व १३.५६ आहे. आणि १ घनफूट पाण्याचें वजन १००० औंस आहे. तर दर चौरस इंचावर हवेचा दाब किती पौंड असेल, तें काढ.

(६) म्यारिअट याच्या प्रयोगाच्या नळींत आरंभीं हवा ६ इंच उंचीची आहे: आणि लांब नळींत पारा ओतल्यावर जेव्हां तींत छोट्या नळींपेक्षां २० इंच अधिक उंच पारा झाला, तेव्हां हवा ३.६ इंच झाली. तर भारमापकांतील पाऱ्याची त्या वेळीं उंची काय असेल?

(७) ७०० सश. मात्रा आणि २० सश. मात्रा असे अनुक्रमें दाब असतां विवक्षित हैड्रोजनाच्या दोहों वेळच्या दादऱ्यांत काय प्रमाण असेल?

(८) भारमापकांत ३० इंच उंचीचा पारा असतां एक विमान भरलें आहे. ज्या ठिकाणीं फक्त २४ इंच दाब आहे, इतक्या उंचीवर विमान नेलें तर एकंदर वायूचा कितवा हिस्सा रक्षक पडद्यांतून बाहेर जाईल, आणि मूळच्या एकंदर वायूचें वजन ३ पौंड असलें, तर किती वजनाचा वायु विमानांत राहील?

(९) एका विमानाची पोकळी ६००० घनफूट आहे. तें विमान ज्या ठिकाणीं भारमापक ३० इंचांवर आहे, त्या ठिकाणीं पृथ्वीवर (अंशतः) भरावयाचें आहे. ज्या ठिकाणीं २५ इंच हवेचा दाब आहे, तितक्या उंचीवर त्या विमानांतून जावयाचें

निरनिराळे वायु भरले; १० इंच दाबाचा १० लिटर आक्सिजन; २० लिटर दाबाचा ३ लिटर हैड्रोजन; ३० इंच दाबाचा २ लिटर हैड्रोजन; आणि दर चौरस इंचावर १६ पौंड दाब पाडणारा ४ लिटर कार्बानिक आसिड वायु. तर एकंदर वायूंचा भांड्याच्या बाजूवर दाब किती पडेल?

(११) त्याच भांड्यांत दर चौरस इंचावर १० पौंड दाब पाडणारा २० घनफूट हैड्रोजन आणि १६ पौंड दाब पाडणारा १५ घनफूट हैड्रोजन घातला, आणि भांड्यावर २४ इंच उंचीच्या पाऱ्याइतका दाब पडावा अशी अपेक्षा आहे. तर भांड्याचें आकारमान काय असावें?

टीप—१० व ११ या उदाहरणांत २ इंच पारा ह्मणजे दरचौरस इंचावर १ पौंड दाब असें घेतलें असतां बस आहे.

---

८४. **उपोद्घात**—उष्णमानांत फेरफार झाला असतां वायूंवर काय परिणाम घडतात, याचा या प्रकरणांत विचार करूं. नंतर मागील प्रकरणांत सांगितलेल्या गोष्टींशीं याची सांगड घालून उष्णमान आणि दाब या दोहोंत फेरफार झाल्यानें वायूंवर काय परिणाम घडतात, तें काढूं.

उष्णमानांत फेरबदल झाल्यानें वायूंचें कसें प्रसरण घडतें, याचा बारकाईनें विचार करण्यापूर्वी, वायूंवर उष्णतेचे साधारण परिणाम काय घडतात, तें पाहूं.

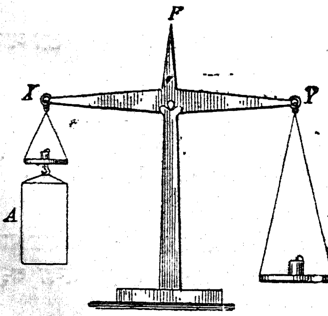
८५. **वायूंचें प्रसरण; उदाहरणें व व्यवहारोपयोग**—घन व द्रव पदार्थांप्रमाणें वायूही उष्णतेनें प्रसरण पावतात. दोहों प्रसरणांची तुलना केली तर वायूंचें प्रसरण फार जास्त असतें, असें एकदम लक्षांत येईल.

प्रयोग—एक त्वचेची पिशवी थोडीशी हवेनें भरून गच्च बंद करावी. तिला उष्ण केलें म्हणजे ती फुगेल, व तेणेंकरून तिजमधील हवा प्रसरण पावली आहे, असें नजरेस येईल.

हवेचें उष्णमापक—पहिल्या प्रकरणांत सांगितल्याप्रमाणें फारसूक्ष्म अशीं उष्णमानें मापण्यासाठीं हवेचें उष्णमापक करण्यास वायूच्या या अत्यंत प्रसरणशीलतेचा उपयोग करितात. या उष्णमापकांत २ दोष असतात. (१) हें यंत्र लहानसें व इकडे तिकडे फिरवितां येण्याजोगें नसतें. (२) हवेच्या दाबांत फेरफार झाल्यानें यांत फेरफार होतात.

लेस्लीचें अंतरदर्शक उष्णमापक—याची आकृति व वर्णन हीं प्रकरण १ यांत दिलीं आहेत.

८६. **प्रसरणामुळें दार्ढ्य कमी होतें**—वायु प्रसरण पावला म्हणजे मूळच्या वजनाचा वायु जास्त जागा व्यापितो. म्हणजे त्याचें आकारमान जास्त होतें. म्हणून १ घनफूट थंड हवेपेक्षां १ घनफूट उष्ण हवा वजनास कमी भरेल.



आकृति ९० वी.

द्रवांतील प्रापणप्रवाहांविषयीं विचार करितांना जे नियम सांगितले त्या नियमांप्रमाणें उष्ण हवा थंड हवेंतून वर ढकलली जाईल, किंवा ती वर चढेल.

प्रयोग.—X F Y हा एक तराजू आहे. A हें कांचेचें उलटें पंचपात्र याच्या एका भुजेस टांगिलें आहे. पंच-

पात्राचें तोंड खालीं करून तारांच्या योगानें हें उलटें टांगिलें आहे, व दुसऱ्या पारड्यांत वजनें व छरे घालून तराजू असा समतोल केला आहे कीं, तो हेलकावे खाऊं लागला तर शून्याच्या दोहों बाजूंस सारख्या अंतरावर सरकतो. A पंचपात्राच्या तोंडाखालीं मद्यार्काचा दिवा ठेवून A मधील हवेस उष्ण करूं. आतां A पंचपात्र लाविलेली भुजा वर जाईल, व तराजूस हेलकावे दिले तर A पंचपात्र हलकें झालें आहे असें दिसेल.

उष्ण हवेचीं विमानें—मागील प्रयोगांत कांचेच्या पंचपात्रावर खालून वर दाब पडला. पंचपात्रांतील उष्ण हवेचें वजन, आणि तेवढ्याच आकाराच्या थंड हवेचें वजन या दोहोंच्या अंतराइतका पंचपात्रावर दाब पडला आहे. तिसऱ्या प्रकरणांत प्रापणाविषयीं सांगतांना याविषयीं स्पष्टीकरण केलेलें आहे. जर पंचपात्र फार हलकें असतें, उदाहरणार्थ सोनेरी वर्ख करणारांच्या उपयोगाकरितां बैलाच्या मूत्राशयाच्या तयार केलेल्या त्वचेचें केलेलें असतें, तर सभोंवतालच्या थंड व दाट हवेतून त्यास वर चढविण्यास ऊर्ध्वगत दाब बस झाला असता.

याच तत्त्वावर उष्णहवेचीं विमानें केलेलीं असतात. पातळ कागदाचीं, किंवा त्वचेचीं, गोल किंवा बदामी आकाराचीं A आकृती सारखीं विमानें करितात. (आ. ५१ पहा) आणि B C तोंडासभोंवतीं बसण्याच्या जागा असतात, आणि तोंडाच्या मध्यभागीं बारीक तारांच्या जाळीचा एक पिंजरा असतो. त्यांत लांकडाच्या ढलप्या वगैरे जाळितात. आरंभीं A मधील हवेस मोठ्या विस्तवानें उष्ण करितात; आणि हवेच्या पृष्ठभागापासून वर गेल्यावर लांकडाच्या ढलप्या जाळून हवेस उष्ण ठेवितात.

आकृति ५१ वी.

विमानाची वर चढण्याची शक्ति खालीं लिहिल्याप्रमाणें काढितां येते.

$व$=विमानाचें व त्यांत बसलेल्या उतारूचें वजन.

$व_1$=विमानांतील उष्ण हवेचें वजन.

$व_2$=विमानानें दूर केलेल्या हवेचें वजन. म्हणजे विमाना एवढ्या आकाराच्या थंड हवेचें वजन.

तर एकंदर खालून वर दाब$=व_2$ आणि $(व+व_1)$ यांच्या अंतराबरोबर असेल. कारण $व+व_1$ हें वजन पृथ्वीच्या आकर्षणानें खालीं जाईल; आणि $व_2$ हा हवेचा दाब त्यास वर दाबील. म्हणून विमानास खालीं न जाऊं देतां त्यास वर चढविण्याची शक्ति $व_2-(व+व_1)$ असेल.

विमान जसें वर चढतें, त्याप्रमाणें त्या सभोंवतालची हवा अधिक अधिक पातळ होत जाते, किंवा $व_2$ ची किंमत कमी कमी होत जाते. म्हणून जेव्हां $व_2=व+व_1$ होईल, तेव्हां विमान चढण्याचें थांबेल.

८७. **वायूमधील प्रापणप्रवाह**—जेव्हां कोणत्याही आकारमानाच्या हवेस

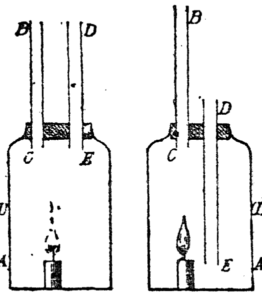
तळाजवळ उष्ण केलें, ह्मणजे थंड हवेच्या मानानें उष्ण हवेचें दाढर्य किंवा जड-पणा कमी असतो; ह्मणून द्रवांत ज्या कारणानें प्रापणप्रवाह उत्पन्न होतात, त्याच कारणानें वायूमध्यें उत्पन्न होतात. हे प्रवाह उत्पन्न होण्याच्या ज्या अनेक रीति आहेत, त्यांचा आपण विचार करूं.

८८. **घराच्या खोल्यांत हवा खेळणें**— घराच्या खोल्यांतील हवा श्वासोच्छ्वसनास दोन कारणांनीं अयोग्य होते. (१) लोकांच्या श्वासोच्छ्वसनानें, आणि (२) दिवाबत्तीनें. कारण प्राणी श्वासाबरोबर हवा पोटांत घेतात, तेव्हां हवेंतील आक्सिजन कमी होतो व जो वायु उच्छ्वासाबरोबर बाहेर टाकितात तो उष्ण असून त्यामध्यें कार्बानिक आसिड वायु असतो. त्याच प्रमाणें दिवे तेवतात तेव्हां दाह्य द्रव्यें हवेंतील आक्सिजनाशीं संयोग पावतात व त्यापासून उष्ण कार्बानिक आसिड वायु उत्पन्न होतो. या दोन कारणांनीं हवा उष्ण होते, व त्याचप्रमाणें दूषितही होते. म्हणून ही वाईट हवा उष्ण असते असें समजून तिला प्रापणप्रवाहांनीं कसें बाहेर घालवावें, याचा विचार करूं.

ही दूषित हवा उष्ण असल्यामुळें खोलीच्या माथ्याकडे चढण्याचा तिचा कल असेल; यास्तव तिला बाहेर जातां यावें ह्मणून तेथें द्वार असलें पाहिजे. परंतु आंतील हवेचा दाब बाहेरील हवेच्या दाबा इतकाच राहिला पाहिजे, म्हणून तिच्या जागीं थंड ताज्या हवेस आंत येण्यास मार्ग ठेविला पाहिजे.

जर माथ्यावरच एक द्वार थंड हवा आंत येण्यास ठेविलें, तर जी उष्ण हवा वर चढेल, तिणें एकाच भोंकांतून बाहेर जावें, व दुसऱ्या भोंकांतून थंड हवा आंत यावी असें होणें अशक्य होईल, व यापासून दोन्ही द्वारांतून कांहीं वेळ उष्ण हवेचे प्रवाह बाहेर जातील, आणि कांहीं वेळ थंड हवेचे प्रवाह आंत येतील. यास्तव थंड हवेस आंत येण्यास खालच्या भागीं द्वार असलें पाहिजे.

प्रयोग— A ही एक रूंद तोंडाची कुपी असून तिच्या बुडावर एक जळती मेणबत्ती आहे. बुचांत B C आणि D E ह्या दोन मोठ्या नळ्या बसवून (सुमारें पाऊण इंच व्यासाच्या) तें बूच कुपीच्या तोंडावर बसविलें आहे. प्रथम D E नळी इतकी खालीं सारावी, कीं, तिचें खालचें E तोंड कुपीच्या बुडाजवळ येईल. B C नळीचें खालचें C तोंड कुपीच्या माथ्या जवळच आहे, हें बाजूवरील एका आकृतींत दाखविलें आहे. अशा स्थितींत कुपींतील मेणबत्ती संथपणें जळेल. (आ. ५२ पहा) धुमसणारा कागद नळीच्या दोहों तोंडाशीं धरिला असतां असें आपणास दिसेल कीं, B C नळींतून उष्ण हवेचा प्रवाह वर चढत आहे, आणि DE तून थंड हवेचा प्रवाह खालीं उतरत आहे.

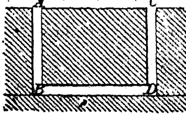


आकृति ५२ वी.

परंतु आतां जर D E नळीस वर ओढून तिचें खालचें E तोंड दुसऱ्या नळीच्या खालच्या क तोंडा इतक्या उंचीवर आणिलें, तर लागलेंच आपल्यास असें आढळेल कीं, मेणबत्ती विझते, किंवा फार मंद जळूं लागते; आणि धुमसणारा कागद नळ्यांच्या तोंडाशीं धरिला तर असें दिसेल कीं प्रवाह मुळींच नाहींत, आणि असले तर फार मंद आहेत.

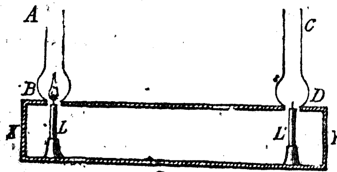
[**सूचना**—या प्रयोगास नळ्या घेणें त्या साधारण रुंद असाव्या. परंतु फार रुंद असल्यास बुचाच्या तुकड्यांनीं अंशतः तोंडें लहान करावीं. प्रयोग चांगला चालू होण्यास नळ्यांस खालवर करून बेतावर आणणें अवश्य असतें. आणखी प्रयोगाचा दुसरा भाग करण्यापूर्वीं दोहों नळ्यांस थंड होऊं दिलें पाहिजे. नाहीं तर C B नळी पूर्वींच उष्ण झालेली असल्यानें प्रवाह तसेच चालू राहतात.]

८९. **खाणींत हवा खेळविणें**—खाणीमध्यें एक द्वार माथ्याशीं व एक द्वार बुडाशीं अशी योजना आपणास करितां येत नाहीं. कारण सर्वच खाण जमिनीच्या खालीं असते. खाणींत हवा खेळविण्यास काय योजना करावी लागते, हें समजण्याकरितां खाणीच्या मुख्य भागाचें छिन्न येथें काढूं. B D हा खाणींतील एक क्षितिज पातळीशीं समांतर असा टप्पा (भोगदा) आहे, व या टप्प्यापासून लंबाकार वर आलेलीं अशीं A B आणि C D हीं दोन द्वारें आहेत. (आ. ५३ पहा) खाणींतील कोळसे काढण्याकरितां खोदलेल्या भोगद्यामध्यें वाईट हवा फार जमते, आणि या हवेचा बराच भाग साधारण हवेपेक्षां जड असल्यामुळें त्यास बाहेर घालविणें फार अवघड असतें. परंतु जर C D या एका उभ्या द्वारांतील हवेस उष्ण केलें, तर ती हवा आरंभीं सांगितलेल्या तत्त्वाप्रमाणें वर लोटली जाईल; आणि A B द्वारानें ताजी हवा तिच्या जागीं खालीं उतरेल. म्हणून C D च्या बुडाशीं जर विस्तव पेटविला तर खाणींत हवा खेळूं लागेल.



आकृति ५३ वी.

प्रयोग—बाजूवरील आकृतींत X Y ही एक लांब लांकडी पेटी आहे. ही पेटी खाणींतील एक खोल भोगदा दर्शविते, असें समजूं. या पेटीच्या माथ्यावर दोहों शेवटांकडे दोन भोकें पाडलेलीं असून त्यांत दोन दिव्याच्या चिमण्या AB आणि C D बसविलेल्या आहेत. या चिमण्या खाणींतील उभीं दोन द्वारें दर्शवितात. प्रत्येक चिमणीच्या खालीं एकेक मेणबत्ती ठेविलेली आहे. (आ. ५४ पहा.)



आकृति ५४ वी.

आतां जर आपण A B ह्या एका चिमणीखालील मेणबत्ती पेटविली, तर पेटींत लागलीच हवा खेळूं लागेल; आणि C आणि A या ठिकाणीं धुमसणारा कागद धरिला तर त्याच्या धुराच्या गतीवरून हें लागलेंच आपणास समजेल.

जर CD चिमणीखालील मेणबत्तीची वात कापून मंद जळण्याजोगी केली आणि पेटविली तर तिची ज्योत खालच्या बाजूस जातांना दिसेल.

या ठिकाणीं आपण हें लक्षांत ठेविलें पाहिजे कीं, खाणींत विस्तव पेटवून तींत हवा खेळविणें निर्भय किंवा कमी खर्चाचें होणार नाहीं. यास्तव उभ्या द्वारांत वाफ सोडून किंवा पंखा चालवून प्रवाह उत्पन्न करितात. वाफेचा प्रवाह हवेंत सोडिला म्हणजे ती वाफ हवेंत मिसळून पुष्कळ आकारमानाच्या हवेस मंद गति देते, आणि हवेंतून नुसती आपणच जोरानें वर चढत नाहीं, असा वाफेच्या आंगीं धर्म आहे. म्हणून धुराड्यांत किंवा खाणीच्या उभ्या द्वारांत हवेचा प्रवाह उत्पन्न करण्यास हें मोठें उपयुक्त साधन आहे.

९०. धुराडीं—धुराड्यांत जे हवेचे प्रवाह उत्पन्न होतात, त्यांचें कारण धुराड्याच्या सभोंवतालच्या हवेपेक्षां धुराड्यांतील हवा उष्ण व हलकी असते हें होय. या हवेस सभोंवतालची थंड हवा वर लोटून इतर प्रापणप्रवाहांप्रमाणें थंड हवा तिच्या जागीं येते. परंतु नव्या हवेस तिच्या जागीं येण्यास धुराड्याच्या बुडाच्या जाळीवर जो विस्तव पेटविलेला असतो, त्यांतून जावें लागतें, यामुळें तीही उष्ण होते.

द्रवरूपी पदार्थांचा त्यांच्या गुरुत्वामुळें ज्याप्रमाणें खालच्या बाजूस दाब असतो, त्याचप्रमाणें वायूचा ही खालच्या बाजूस दाब असतो. मात्र हा दाब प्रयोगद्वारा सिद्ध करण्यास अमळ जास्त अवघड जातें. हा दाब ही लंबोत्तर उंचीवर अवलंबून असतो.

आतां उष्ण हवेस वर ढकलण्याचा जोर विवक्षित अवकाशांतील थंड हवा व उष्ण हवा या दोहोंच्या अधोगत दाबाच्या अंतराबरोबर असतो. (या ठिकाणीं दर चौरस इंचावर अमुक पौंडांचा दाब या अर्थीं दाब या शब्दाचा उपयोग करीत आहों.)

ज्यापेक्षां हे दोन्ही दाब धुराड्याच्या लंबोत्तर उंचीवर अवलंबून असतात, त्यापेक्षां ऊर्ध्वगत दाब म्हणजे दोहों दाबांमधील अंतरही धुराड्याच्या लंबोत्तर उंचीवर अवलंबून असलें पाहिजे. याचा अर्थ असा झाला कीं, धुराड्यांत प्रवाह उत्पन्न करणारा दाब धुराड्याच्या लंबोत्तर उंचीच्या प्रमाणांत असतो. बाहेरील थंड हवा व आंतील उष्ण हवा या दोहोंच्या उष्णमानांमधील अंतरावरही हा दाब अवलंबून असेल. कारण धुराड्यांतील हवा जशी जास्त उष्ण होते त्याप्रमाणें ती जास्त हलकी होऊन तिचा अधोगत दाब कमी होतो.

यास्तव धुराड्यांत खूप जोराचा प्रवाह उत्पन्न होण्यास त्याची उंची फार असली पाहिजे; आणि त्यांत जो विस्तव पेटवूं त्यानें तिजमधील हवेचें उष्णमान फार उच्च होण्याजोगी ती अरुंदही असली पाहिजे. मोठमोठ्या कारखान्यांत ज्या चिमण्या असतात, त्या साधारणपणें उंच व अरुंद असतात. आगगाड्या चालविण्याच्या वाफेच्या यंत्रांत या चिमण्या फार उंच असूं शकत नाहींत. म्हणून या यंत्राच्या दट्ट्या सरण्याच्या नळींतून वाफ बाहेर पडत असतां तिला धुराड्यांत सोडतात, तेणें करून खूब जोराचा प्रवाह उत्पन्न होतो.

खारा वारा व मतलई—दुसऱ्या जास्त विशेष कारणांनीं उत्पन्न झालेले वारे वाहत नसले, म्हणजे सूर्य जस जसा वर येतो, त्याप्रमाणें समुद्राकडून जमिनीकडे, आणि सूर्य मावळल्यावर रात्रौ जमिनीकडून समुद्राकडे कसा वारा वाहतो, याचा अनुभव सर्वांस असतो. कोळी लोक या वाऱ्याच्या योगानें रात्रौ समुद्रांत मासे मारण्यास जातात, आणि सकाळीं परत येतात, हें पुष्कळांनीं पाहिलें असेल.

हे वारे कसे उत्पन्न होतात याविषयीं विचार करूं. सूर्याचें ऊन जमिनीवर आणि समुद्रावर सारखेंच पडतें. जमीन त्वरित उष्ण होते, आणि प्रापणप्रवाह उत्पन्न होऊन तिजवरील हवाही उष्ण होते. समुद्र जलदी उष्ण होत नाहीं. समुद्राच्या पृष्ठभागापासून बरीच उष्णता परावर्तन पावून पुनः हवेंत पसरते, व पाण्याची वाफ होऊन तिजबरोबर बरीच उष्णता गुप्त होते, आणि जी कांहीं उष्णता पाण्यांत प्रवेश करिते, तिच्या योगानें पाण्याचा समुदाय मोठा असल्यामुळें व त्याची विशिष्ट उष्णता फार असल्यामुळें पाण्याच्या उष्णमानांत फार थोडा फरक पडतो. ह्मणून समुद्रावरची हवा त्या मानानें थंड राहते. समुद्रावरच्या हवेंत पाण्याची पुष्कळ वाफ बहुधा मिसळलेली असल्यामुळें, आणि ही वाफ सूर्याची बरीच उष्णता शोषण करीत असल्यामुळें समुद्रावरची हवा कांहीं उष्ण होते. परंतु जमिनीवरची हवा याहून जास्त उष्ण असल्यामुळें ती वर लोटली जाऊन समुद्राकडील थंड हवा तिच्या जागीं येते.

परंतु सूर्यास्त झाल्यावर रात्रौ जमीन आणि समुद्र दोनही आपल्यांतील उष्णता विसर्जित करून थंड होऊं लागतात; आपणास विसर्जनाच्या प्रकरणांत असें समजेल कीं, जे पदार्थ उष्णतेचे चांगले शोषक असतात, तेच चांगले विसर्जक असतात, आणि जे मंदशोषक ते मंदविसर्जक असतात.

म्हणून जमीन शीघ्रशोषक व शीघ्रविसर्जक असल्यामुळें फार जलदी थंड होईल, आणि समुद्र मंदशोषक आणि मंदविसर्जक असल्यामुळें सावकाश थंड होईल.

पृथ्वी आणि समुद्र यांच्या संनिध असलेल्या हवेचें उष्णमान बहुतेक त्यांच्याइतकेंच होतें. म्हणून कांही वेळानें समुद्रावरील हवा जरी थंड असते, तरी जमिनीवरच्या हवेपेक्षां उष्ण राहते. ह्मणून यावेळीं जमिनीकडून समुद्राकडे वारा वाहतो. यास मतलई म्हणतात.

हे वारे, साधारणपणें निःशक्त असतात, आणि ज्यांचें पुढें वर्णन केलें आहे, त्यांपुढें हे कदाचित् सर्वदा दृष्टोत्पत्तीस येत नाहींत.

९२. **व्यापारोपयोगी वारे**—विषुववृत्तावरील जमीन व समुद्र यांवर जें सूर्याच्या उष्णतेचें कार्य होतें, त्याच्या योगानें समुद्रांतील प्रवाहांप्रमाणें हवेंतही प्रवाह उत्पन्न होऊन विषुववृत्तापासून प्रवाह वर चढून उत्तर आणि दक्षिण ध्रुवांकडे उतरतात. कारण उष्णकटिबंधांतील हवा उष्ण होऊन उत्तर व दक्षिण ध्रुवांकडून

दिशा कशा बदलतात, याचा आतां विचार करूं. परंतु प्रथमतः दोन भिन्न दिशांनी गति असलेल्या वेगाचें एकीकरण कसें होतें, याविषयीं चार शब्द लिहिले पाहिजेत. याचें स्पष्टीकरण थोडीं उदाहरणें घेतल्यानें चांगलें होईल.

१. जर पावसाच्या धारा थेट लंबाकार खालीं पडत असतील, आणि आपण फार जलदीनें त्यांशीं काटकोनाकार असे आडवे चालत असलों तर त्या धारा आपणावर तिरकस पडतील. ही केवळ देखतभूल नसून वास्तविक गोष्ट आहे. अशा वेळीं जर आपल्या हातांत असलेल्या लांब नळींतून पावसाच्या धारा पार खालीं पडाव्या, अशी आपली अपेक्षा असेल, तर ती नळी आपणास तिरकस हातांत धरावी लागेल.

पावसाचे थेंब खालीं पडण्याचा लंबोत्तर वेग याचें परिमाण व दिशा दर्शविण्यास OA रेषा घेऊं, (आ. ५५ पहा) आणि पृथ्वीच्या वेगामुळें आपला पुढें जाण्याचा वेग दर्शविण्यास OB रेषा घेऊं. तर OA आणि OB यांवर काढलेल्या समांतर भुजचौकोनाचा कर्ण OC ज्या प्रत्यक्ष दिशेनें व वेगानें पाऊस आपणापर्यंत येऊन पोंचतो, तो वेग व दिशा दर्शवील. म्हणून आपला आडवा जाण्याचा वेग OB हा O A वेगाच्या मानानें फार थोडा असेल, तर OC कर्ण OA च्या बहुतेक जवळ जवळ बरोबर असेल.



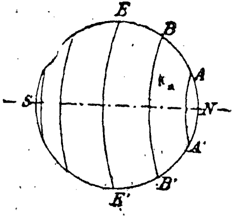
आ० ५५ वी.

२. आपण आगगाडींतून प्रवास करीत असतां डब्याशीं काटकोनाकार अशा दिशेनें खिडकींतून एखादें लिंबू फेंकलें, तर तें हवेंतून तिरकस अशा दिशेनें चलन पावेल; आणि ज्या दिशेनें गाडी जात आहे, ती दिशा आणि त्या दिशेशीं लंब अशा ज्या दिशेंत आपण लिंबू फेंकलें आहे ती दिशा, या दोहोंच्या मध्यें लिंबाचा मार्ग असेल.

याप्रमाणें वेगाचें एकीकरण होत असतें.

आतां पृथ्वी आपल्या आंसावर फिरते, त्याविषयीं आपण थोडा विचार करूं. दर २४ तासांत पृथ्वीची आपल्या आंसावर एक फेरी होते. ह्मणून पृथ्वीवरील कोणताही पदार्थ २४ तासांत एक वेळ पृथ्वीच्या आंसाभोंवतीं फिरतो. जर तो पदार्थ विषुववृत्तावर असला तर त्याच्या फेऱ्यापासून जें वर्तुळ होतें, तें फार मोठें, ह्मणजे सुमारें २४,००० मैल परिघाचें असतें. म्हणून तेथचा हरएक पदार्थ दर तासास १,००० मैल या वेगानें फिरत असतो. परंतु जर तो पदार्थ उत्तर किंवा दक्षिणध्रुवाजवळ असला तर आंसाभोंवतीं त्याच्या फिरण्यानें २४ तासांत जें वर्तुळ होईल, तें फार लहान असेल. यावरून पृथ्वीच्या फिरण्यामुळें तिजवरील पदार्थ विषुववृत्तावर अतिवेगानें फिरत असतात, आणि हा वेग जसजसे पदार्थ अधिक अधिक ध्रुवाकडे असतात, त्याप्रमाणें कमी कमी होत जातो.

आतां पृथ्वीच्या पृष्ठभागाजवळ असलेला कोणताही हवेचा समुदाय घेतला तर घर्षणामुळें त्यास त्या पृष्ठभागाच्या भागीं जी गति असेल, तीच गति प्राप्त होईल. पृथ्वी पश्चिमेकडून पूर्वेकडे फिरते. म्हणून B B′ (आकृति ५६ पहा) या वृत्तासभोंवतालची हवा पश्चिमेकडून पूर्वेकडेच फिरत राहील. परंतु EE′ या विषुववृत्तासभोंवतालच्या हवेपेक्षां हिचा वेग कमी असेल.



आकृति ५६ वी.

आतां असें समजूं कीं, विषुववृत्तावरची हवा उष्ण होऊन वर गेल्यामुळें B जवळची हवा विषुववृत्ताकडे जाते. आपल्याहून पश्चिमेकडून पूर्वेकडे जास्त वेगानें फिरणाऱ्या पृथ्वीच्या भागावर ही हवा जाते. म्हणून ती मागें राहात जाईल, किंवा पृथ्वीवरील पदार्थांस ती पूर्वेकडून पश्चिमेकडे येत आहे, असें दिसेल. परंतु ह्या गतीशिवाय उत्तरेकडून दक्षिणेस विषुववृत्ताकडे येण्याची गति या हवेच्या भागीं असते, याकरितां एक पूर्वेकडून पश्चिमेकडे नेणारी गति आणि दुसरी उत्तरेकडून दक्षिणेकडे नेणारी गति या दोहों गतींचें वर दाखविल्याप्रमाणें एकीकरण होऊन या दोहोंमध्यें कोणत्यातरी दिशेनें हवा चालून पावेल. याच रीतीनें विषुववृत्ताच्या उत्तरेस असणाऱ्या प्रदेशांत ईशान्यवारे वाहतात; आणि याच रीतीनें विषुववृत्ताच्या दक्षिणेकडील प्रदेशांत आग्नेयवारे वाहतात, व यांसच व्यापारोपयोगी वारे असें ह्मणतात.

विषुववृत्तापासून जी उष्ण हवा वर जाते, ती थंड होऊन उत्तरेकडे व दक्षिणेकडे उतरते. ही हवा आपणांहून कमी वेगानें फिरणाऱ्या पृथ्वीच्या प्रदेशावर जाते. ह्मणून ती आपल्या जास्त वेगानें पुढें पुढें जाईल, किंवा या कारणामुळेंच पश्चिमेकडून आली असें दिसेल. ही गति व विषुववृत्तापासून उत्तरेकडे जाण्याची तिची गति या दोहोंचें एकीकरण होऊन उच्च प्रदेशीं नैर्ऋत्य दिशेनें वारा वाहत आहे, असें दिसेल.

उच्च प्रदेशीं उत्तर गोलार्धांत नैर्ऋत्य दिशेनें वाहणारे, आणि दक्षिण गोलार्धांत वायव्य दिशेनें वाहणारे वारे यांच्या दिशा ज्वालामुखी पर्वतांतून उच्च प्रदेशीं उडून गेलेली राख ज्या मार्गानें जाते, त्यावरून स्पष्टपणें अनुभवास आल्या आहेत.

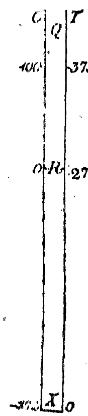
९३. **वायूचा प्रसरणगुणक**—वायूच्या प्रसरणाविषयीं आतां अधिक स्पष्ट रीतीनें आपण विचार करूं. दुसऱ्या प्रकरणांत २१ व्या कलमांत प्रसरणगुणकाचा जो अर्थ व त्यावे जे उपयोग सांगितले ते वाचकांनीं लक्षांत ठेवावे. प्रस्तुतच्या विवेचनाकरितां सर्व वायूंचा प्रसरणगुणक सारखाच आहे असें समजतां येतें आणि तो $\frac{१}{२७३}$ किंवा ·००३६६ सरासरीनें आहे.

याचा अर्थ असा कीं, ०°श. उष्णमानावरील १ घनफूट हवेचें उष्णमान १°श. पर्यंत वाढविलें, तर तिचें आकारमान $१\frac{१}{२७३}$ घनफूट होईल, किंवा $\frac{२७४}{२७३}$ घनफूट असेल. आणि जर तिला १०°श. पर्यंत उष्ण केलें तर $\frac{२८३}{२७३}$ घनफूट तिचें आकारमान होईल.

होईल. उदाहरणार्थ ०°श. उष्णमानावर असलेल्या १ घनफूट हवेचें—१५°श. उष्णमान केलें तर ती $१ - \frac{१५}{२७३} = \frac{२५८}{२७३}$ घनफूट होईल.

९४. **अपूर्णांकाचा उपयोग न करितां प्रसरणाचा विचार.**—०श. उष्णमानावरील १ घनफूट किंवा १ घनइंच वायूच्या प्रसरणाचा किंवा आकुंचनाचा विचार करितांना $\frac{१}{२७३}$, $\frac{२}{२७३}$ इत्यादि अपूर्णांकाचा आपणास उपयोग करणें भाग पडलें. परंतु जर आपण ०°श. उष्णमानावर २७३ घनफूट किंवा घनइंच हें सोईचें आकारमान घेतलें, तर आपणास अपूर्णांकाचा उपयोग करावा लागणार नाहीं. कारण २७३ चा $\frac{१}{२७३}$ म्हणजे १ आहे. यास्तव ०°श. उष्णमानावर एकेक अंश उष्णमान वाढविलें तर वायु १ घनफूट किंवा १ घनइंच प्रसरण पावेल, आणि ०°श. खालीं त्यास शीत केलें, तर प्रत्येक अंशास त्याचें आकारमान १ घनफूट किंवा १ घनइंच कमी होत जाईल.

९५. ***हवेचें उष्णमापक, केवल शून्य उष्णमान, आणि केवल उष्णमान**—बाजूवरील आकृतींत दाखविल्यासारखी क्ष बुडाशीं बंद अशी एक QRX लांब नळी आहे. (भा. ५७ पहा) या नळीचे बुडापासून सारखे भाग पाडलेले आहेत. असें समजूं कीं, हा प्रत्येक भाग एक घनइंचाएवढा आहे.



प्रथमतः असें समजूं कीं, नळी ०°श. उष्णमानावर आहे, आणि या नळींत कांहीं हवा आहे. या हवेनें या उष्णमानावर नळीचे २७३ भाग व्यापिले आहेत. ही हवा बाहेरच्या हवेपासून R या दट्ट्यानें वेगळी झालेली आहे. हा दट्ट्या गुरुत्वशून्य असून नळीच्या आंतबाहेर घर्षणव्यतिरिक्त सरण्याजोगा आहे. ज्या हवेविषयीं आपण विचार करीत आहों, तिचा शेवट कोठें झाला आहे, म्हणजे ती कोठपर्यंत आहे हें दाखविण्याकरितां मात्र या दट्ट्याचा उपयोग आहे. २० कलमांत वर्णन केलेल्या हवेच्या उष्णमापकांतील पाण्याचें काम हा दट्ट्या करितो. परंतु पाणी, पारा किंवा मद्यार्क यांसारखी हवा दृश्य नाहीं.

जर या हवेस आपण १°श. पर्यंत उष्ण केलें, तर ती प्रसरण पावून २७४ भाग जागा व्यापील; जर १०°श. पर्यंत उष्ण केलें तर २८३ आ. ५७ वी. भाग जागा व्यापील, आणि जर ३०°श. किंवा १००°श. उष्णमान कमी केलें तर ती २४३ किंवा १७३ भाग जागा व्यापील. हवा ज्याप्रमाणें प्रसरण किंवा आकुंचन पावेल, त्याप्रमाणें दट्ट्या वरखालीं सरून हवा कोठपर्यंत आहे हें समजेल.

---

* प्रकरण ५ याची पुरवणी अ पहा.

आतां हें उघड आहे कीं, असे भाग पाडलेली व जींत ०°श. वर २७३ भाग आकारमानाची हवा आहे, अशी ही नळी एक उष्णमापकच आहे. २७३ वा भाग ०°श. उष्णमान दर्शवितो, आणि २८३ आंकडा १०°श. उष्णमान दर्शवितो. एका बाजूस शतभाग उष्णमानें दर्शविण्याजोगे आंकडे मांडतां येतील, व दुसऱ्या बाजूस ० पासून २७३ पर्यंत, व पुढें २७४, २७६ इत्यादि, दुसऱ्या मानाचें उष्णमान दाखविणारे आंकडे मांडतां येतील. या दोहोंत इतकाच फरक असेल कीं, दुसऱ्या उष्णमानास—२७३ श. पासून आरंभ होईल. म्हणजे याचा —२७३ श. ठिकाणीं ०°श, असेल, म्हणून ह्या दुसऱ्या कोणत्याही उष्णमानांत २७३ वजा केल्यानें त्याच्या बराबरीचें शतभाग उष्णमान समजेल, आणि शतभाग उष्णमानांत २७३ मिळविल्यानें त्याच्या बरोबरीचें या दुसऱ्या मानाचें उष्णमान समजेल 'ह्या ०° उष्णमानाचा' म्हणजे—२७३°श, याचा अर्थ काय, याचा आपण विचार करूं,

नळींतील वायूचें एकेक अंश उष्णमान कमी केल्यानें त्याचें आकारमान एकेक भाग कमी होत जाईल. असें करितां करितां जेव्हां त्याचें उष्णमान —२७२ श. होईल, तेव्हां तो वायु सारी एक भाग जागा व्यापील; आणि जर तो वायु सारख्या मानानें नेहमी आकुंचन पावत आहे असें समजलों तर—२७३° श. उष्णमानावर तो वायु कांहीं जागा व्यापणार नाहीं.

ज्या उष्णमानावर वायूचा आकार अगदीं नाहींसा होतो, तें उष्णमान काय असावें हा प्रश्न उत्पन्न होतो, सर्वकाळ वायूवर हवेचा दाब असतो, आणि हा दाब असतां वायु आपलें विद्यमान आकारमान राखितो म्हणजे त्याचें आकारमान विवक्षित असतें. वायु आणि वाफ यांच्या घटनेविषयीं व स्वरूपाविषयीं जी अर्वाचीन काळीं कल्पना निघाली आहे तिजविषयीं विवेचन करितांना पुढें आपणास असें समजेल कीं वायु हा अनेक सूक्ष्म कणांचा बनलेला असून ते कण मोठ्या वेगानें इकडे तिकडे चलन पावत असतात, आणि हे कण एकमेकांवर दाबले किंवा आपटले जाऊन त्यांच्या परस्पर प्रत्याघातानें त्यांचा दाब पडतो अशी गोष्ट नसून, ज्या भांड्यांत वायु असतो, त्यांच्या बाजूवर वायूच्या कणांचा वर्षाव होऊन एखाद्या बुरजावर तोफेच्या गोळ्यांचा वर्षाव झाल्यानें जसा दाब पडतो, त्याप्रमाणें या कणांचा भांड्याच्या बाजूवर दाब पडतो. आपणास पूर्वी असें समजलें आहे कीं, 'उष्णता एक प्रकारची गति आहे,' आणि ज्या वेगानें हे कण चलन पावतात, आणि भांड्याच्या बाजूवर आदळतात, तो वेग उष्णमानावर अवलंबून असतो. ज्याप्रमाणें उष्णमान कमी होत जातें, त्याप्रमाणें हा कणांचा भडिमार भांड्याच्या बाजूवर कमी जोरानें होतो, आणि त्या वायूवर सर्वकाळ हवेचा दाब सारखा असतो, म्हणून त्याप्रमाणें वायूचें आकारमान त्या दाबानें कमी कमी होतें. जेव्हां वायूचा आकार मुळींच नाहींसा होतो, किंवा जेव्हां वायूचे कण अगदीं प्रत्यक्ष एकमेकांस लागून असतात, तेव्हां यावरून आपणास असें समजलें पाहिजे कीं, या वायूच्या कणांची गति अगदीं नाहींशी होते, किंवा त्या वायूचें उष्णमान वास्तवीकच शून्य होतें. दुसऱ्याही गोष्टींवरून या कल्पनेस

पुष्टीकरण येतें. ह्मणून असें अनुमान निघतें कीं,—२७३ श. वर केवळ थंडी असते, किंवा २७३ °श हें केवल शून्य उष्णमान असतें, किंवा उष्णमानाचा हा खरा ०°श. होय. वर सांगितलेली ही याची पूर्ण सिद्धता नाहीं, हें लक्षांत ठेवावें.

शतभाग उष्णमानाच्या अंशा एवढेच अंश उष्णमापकावर मांडिले, आणि —२७३° श. उष्णमान ०° कल्पून आरंभ केला, तर या उष्णमानाचा २७३ वा अंश थिजण्याचा बिंदु दर्शवील; आणि या उष्णमानांत उणे अंश कधींच आपणास घ्यावे लागणार नाहींत. कारण केवळ शून्य उष्णमानाहून कमी उष्णमान आपणास कधींच आढळावयाचें नाहीं.

या रीतीनें उष्णमापकावर अंश मांडिले तर या मानास केवळ उष्णमान म्हणावें व या उष्णमानाच्या अंशास दर्शविण्यास क या अक्षराचा उपयोग करावा.

९६. शतभाग उष्णमानाच्या अंशाचे केवळ उष्णमानाचे अंश करणें.— वर जें सांगितलें त्यावरून असें दिसून येईल कीं शतभाग उष्णमानाच्या अंशांत २७३ मिळविले म्हणजे केवळ उष्णमानाचे अंश निघतील. केवळ उष्णमानाचे अंश क या चिन्हानें दर्शविले तरः—

क=श+२७३.
श=क—२७३.

उदाहरणें. (१) ०°श., १०°श., १४°श., —३°श., —१२०°श. यांचे केवल उष्णमानाचे अंश कर.

०°श.=(२७३+०) क=२७३° क.
१०°श.=(२७३+१०) क=२८३° क.
१४°श.=(२७३+१४) क=२८७° क.
—३°श.=(२७३—३) क=२७०° क.
—१२०°श.=(२७३—१२०) क=१५३° क.

(२) २९०°क, २७३°क, २६०°क, ७०°क यांचे शतभाग उष्णमानाचे अंश कर.

२९०°क=(२९०—२७३) श =१७°श.
२७३°क=(२७३—२७३) श = ०° श.
२६०°क=(२६०—२७३) श=—१३°श.
७०°क=(७० — २७३) श=—२०३श.

९७. जेव्हां दाब बदलत नाहीं, तेव्हां वायूचें आकारमान केवल उष्णमानाशीं प्रमाणांत असतें—पूर्वी प्रमाणें दाब बदलत नाहीं असें धरून समजलों तर असें दाखवितां येईल कीं, केवळ उष्णमानाच्या स्केलावर जर उष्णमानें मापिलीं, तर कोणत्याही वायूचें आकारमान फक्त केवल उष्णमानाच्या प्रमाणांत असतें. कारण असें समजूं कीं, —१०°श. उष्णमान असतां विवक्षित वायूचें आकारमान आपणास माहीत आहे, आणि त्याचें ३०°श. उष्णमान झाल्यावर त्याचें आकारमान काय

होईल हें आपणास काढणें आहे. याचा अर्थ असा कीं, २६३°क उष्णमानावरील त्या वायूचा आकार आपणास माहीत आहे, आणि ३०३°क उष्णमानावर त्याचें आकारमान काय होईल, हें आपणास काढणें आहे. आतां यांपैकीं पहिल्या उष्णमानावर हवेच्या उष्णमापकांतील हवा २६३ भाग जागा व्यापील, आणि दुसऱ्या उष्णमानावर तीच हवा ३०३ भाग जागा व्यापील. परंतु सर्व वायु सारख्या मानानें प्रसरण पावतात, म्हणून जर दिलेला वायु २६३°क उष्णमानावर ६ ग्यालन भरेल, तर ३०३°क उष्णमानावर त्या वायूचें आकारमान किती होईल, हें त्रैराशिकानें काढितां येईल.

२६३ : ३०३ :: ६ ग्यालन : उत्तर.

कांहीं उदाहरणें दिल्यानें याचा उपयोग स्पष्ट समजेल.—वरील प्रमाण न मांडतां अपूर्णांकाच्या रीतीनें आपण उदाहरणें करूं.

उदाहरणें.

(१) कांहीं हैड्रोजन वायु १५°श उष्णमानावर १२ लिटर आहे; तर —१२°श. उष्णमानावर त्याचें आकारमान काय होईल ?

केवल उष्णमानाच्या प्रमाणांत आकारमान असतें म्हणून तें आतां कमी होईल.

∴ उत्तर $=१२\times\frac{२६१}{२८८}=\frac{८७}{८}=१०.८७$ लिटर.

१५°श = २८८क.
-१२°श = २६१क.

(२) १०°श. उष्णमानावर आक्सिजन वायु काढिला तो १५ लिटर भरला. तर ०°श. वर त्याचें आकारमान काय होईल ?

∴ उत्तर $=१५\times\frac{२७३}{२८३}=\frac{४०९५}{२८३}=१४.४७$ लिटर.

१०°श = २८३°क.
०°श = २७३°क.

(३) कांहीं वायूचें आकारमान १०°श. उष्णमान असतां ३ ग्यालन आहे. उष्णमान कमी झालें तेव्हां वायु आकुंचित होऊन त्याचें आकारमान २$\frac{१}{२}$ ग्यालन झालें. तर हें उष्णमान काय असेल ?

केवल उष्णमानाच्या प्रमाणांत आकारमान असतें. म्हणून केवल उष्णमान काढून त्याचें शतभाग उष्णमान काढिलें पाहिजे. नवें उष्णमान कमी असलें पाहिजे, हें उघड आहे.

∴ उत्तर, क $=२८३\times\frac{२\frac{१}{२}}{३}$
$=\frac{१४१५}{६}=२३५^{\circ}\frac{५}{६}$क.

१०°श = २८३°क.

या सिद्धांतास चार्लस याचा किंवा गेलूझाक याचा सिद्धांत असें ह्मणतात.

९८. **दाब आणि उष्णमान**—ज्या भांड्याचा आकार बदलत नाहीं अशा भांड्यांत वायु घेऊन त्याचें आकारमान कायम ठेविलें आहे, असें आतां आपण समजूं. भांड्यास जर उष्ण केलें, तर यांतील वायूचा दाब भांड्याच्या बाजूवर वाढेल, आणि शीत केलें तर दाब कमी होईल, हें आपणास माहीत आहे. तेव्हां आकारमान बदलत नाहीं तेव्हां दाब आणि उष्णमान यांमध्यें बरोबर संबंध काय असतो, याविषयीं या कलमांत विचार करूं.

कलम ९५ यांत सांगितलेली नळीच आतां घेऊं; आणि असें समजूं कीं, त्या नळींत र या दट्ट्याच्या खालीं, हवेचा $द_०$ दाब असतां कांहीं वायु ०°श. उष्णमानावर २७३ भाग जागा व्यापीत आहे.

या ठिकाणीं आकारमान कायम आहे, असें न समजतां ९५ कलमांत सांगितल्याप्रमाणें वायूस प्रसरण होऊं दिलें, आणि नंतर त्यास मूळचें आकारमान प्राप्त होईपर्यंत आकुंचित केलें, असें समजूं. याचा परिणाम तोच होईल. परंतु या रीतीनें उष्णमान वाढविल्यामुळें जो दाबांत फेरफार घडेल तो अधिक सोप्या रीतीनें काढितां येईल.

१°श. उष्णमान वाढविलें म्हणजे तो वायु प्रसरण पावून २७४ भाग जागा व्यापील. याचा दाब $द_०$ आहे; या प्रसरण झालेल्या वायूस आकुंचित करून फक्त २७३ भाग जागा व्यापूं दिलें, तर म्यारिअटच्या सिद्धांताप्रमाणें नवा दाब $द_१ = द_० \times \frac{२७४}{२७३}$ होईल. कारण आकारमान २७४ भाग होतें, तें २७३ झालें आहे, म्हणून दाब वाढला पाहिजे. म्हणजे १°श. उष्णमान वाढविल्यानें आकारमान कायम ठेविलें असतां दाब $\frac{१}{२७३}$ वाढला असें झालें. म्हणून जेव्हां आकारमान कायम असतें तेव्हां दाब कायम ठेविला असतां आकारमान ज्या मानानें वाढतें, त्याच मानानें दाबही उष्णमानाबरोबर वाढतो. वरील कारणें पुनः न सांगतां एकदम खालील नियम सांगण्यास कांहीं हरकत नाहीं.

जेव्हां आकारमान कायम असतें, तेव्हां दाब केवल उष्णमानाच्या प्रमाणांत असतो.

९९. **उदाहरणें**—कांहीं हैड्रोजन वायु एका जाड पेटींत १३°श उष्णमानावर भरला, तेव्हां त्याचा बाजूवर दाब ५० इंच पाऱ्या इतका होता. पेटीनें आकारमान कायम आहे. असें समजलें, तर १४७°श. उष्णमानावर त्याचा दाब किती होईल?

उत्तर, $५० \times \frac{४२०}{२८६} = ७३.४२$ इंच नवा दाब.

(२) १७°श. उष्णमानावर कांहीं वायूचा दाब २८ इंच पाऱ्या इतका भरला. दुसऱ्या उष्णमानावर त्यावर ४२°इंच दाब घालावा लागला. तेव्हां त्यानें आकारमान पूर्वींच्या इतकें राहिलें. तेव्हां दुसऱ्या वेळीं उष्णमान किती असेल तें सांग.

उष्णमान जास्त असेल, हें उघड आहे. प्रथमतः केवळ उष्णमानानें उदाहरण करून नंतर शतभाग अंश काढिले पाहिजेत.

उत्तर क $=२९० \times \frac{४३}{२८} = ४३२^{\circ}$क $= ४३२ - २७३ = १६२$ श.

१००. **दाब, आकारमान आणि उष्णमान**—दाब, आकारमान, आणि उष्णमान तिन्ही एकदम बदलतात, त्याचा आतां विचार करूं. असलीं उदाहरणें कशीं करितात, हें दाखविण्याकरितां २ उदाहरणें करून दाखवूं.

(१) ७°श उष्णमान आणि ७६० सश. मा. दाब असतां कांहीं आक्सिजन वायूचें आकारमान १५ लिटर आहे. तर—८°श उष्णमान आणि ७२० सश. मा. दाब झाल्यावर त्याचें आकारमान काय होईल ?

या ठिकाणीं दिलेल्या १५ लिटर आकारमानास दोन अपूर्णांकांनीं गुणिलें पाहिजे; एक अपूर्णांक दाब बदलल्या बद्दलचा असेल, आणि दुसरा उष्णमान फिरल्याबद्दलचा असेल.

आतां जर फक्त दाब बदलला असता, तर **म्यारिअटच्या** सिद्धांताप्रमाणें आपलें उत्तर $१५ \times \frac{७६०}{७२०}$ झालें असतें. परंतु उष्णमानही बदललें आहे. म्हणून **चार्लस** याच्या सिद्धांताप्रमाणें आपलें शेवटलें उत्तर असें होईल.

$$१५ \times \frac{७६०}{७२०} \times \frac{२६६}{२८०} = \frac{६०३६}{३३६} = १४.९८ \text{ लिटर.}$$

(२) १८°श. उष्णमान आणि ७३० सश. मा. दाब असतां कांहीं वायु काढिला तो $५\frac{२}{३}$ लिटर भरला. तर ०°श. उष्णमानावर त्यास ४ लिटर आकाराच्या भांड्यांत दाबून भरलें तर त्याचा दाब काय होईल ?

आतां जर फक्त आकारमान बदललें असतें तर **म्यारिअटच्या** सिद्धांताप्रमाणें आपलें उत्तर $७४० \times \frac{५\frac{२}{३}}{४}$ झालें असतें. परंतु उष्णमानही बदलतें, म्हणून दाब आणि उष्णमान यांमधील संबंध दाखविणाऱ्या नियमाप्रमाणें आपलें उत्तर असें येईल.

$$७४० \times \frac{५\frac{२}{३}}{४} \times \frac{२७३}{२९१} = ७४० \times \frac{११}{८} \times \frac{२७३}{२९१} = \frac{३७०३७}{३८८} = ९५४.५ \text{ सश.}$$

मा. दाब.

१०१. **वायूचें दार्ढ्य**—वायूचें दार्ढ्य आकारमानाच्या व्युत्क्रम प्रमाणांत असतें, म्हणून दाबाच्या सम प्रमाणांत असतें; परंतु केवल उष्णमानाच्या व्युत्क्रम प्रमाणांत असतें. हें लक्षांत ठेविलें असतां दार्ढ्याचीं उदाहरणें सोडविण्यास कांहीं कठीण जाणार नाहीं, आणि वरील उदाहरणें सूचक होतील.

१०२. **दाब, आकारमान आणि केवल उष्णमान यांचा संबंध दाखविणारी सारणी**—चार्लस याच्या सिद्धांताप्रमाणें आकारमान केवल उष्णमानाच्या प्रमाणांत असतें. म्हणून आपणास एकदम असें लिहितां येईल.

आ ∝ क; किंवा **आ = नक**, किंवा $\frac{\text{आ}}{\text{क}} = \text{न}$ (या वेळीं द किंवा दाब कायम आहे.)

यांत न संख्या कांहीं नियमित गुणक आहे. ७७ कलमाप्रमाणें.

$\text{आ} \propto \frac{१}{\text{द}}$; किंवा $\text{आ} = \frac{\text{म}}{\text{द}}$ (या वेळीं केवल उष्णमान क समान आहे)

यांत म ही नियमित संख्या आहे.

या दोहोंचें एकीकरण केलें म्हणजे,

$$\text{आ} \propto \frac{\text{मन}}{\text{द}} \times \frac{\text{क}}{\text{द}};\ \text{किंवा}\ \frac{\text{आद}}{\text{क}} = \text{मन}.$$

$$\therefore \frac{\text{आद}}{\text{क}} = \frac{\text{आ}_0 \text{द}_0}{\text{क}_0}.$$

यांत आ_0, द_0, आणि क_0 मुळारंभींचें आकारमान, दाब आणि केवलउष्णमान दर्शवितात आणि ल ही नियमित संख्या आहे. या सारणीनें उदाहरणें करितां येतात. ही सारणी सरळ रीतीनें अशी निघते.

प्रथमतः दाब कायम राहून फक्त उष्णमान बदललें आहे असें समजून विवक्षित वायूचें आ आकारमान क उष्णमानावर आहे. आतां क उष्णमान बदलून क_0 उष्णमान झालें. तेव्हां आकारमान क्ष झालें आहे.

$$\therefore \frac{\text{आ}}{\text{क}} = \frac{\text{क्ष}}{\text{क}_0} \therefore \text{क्ष} = \frac{\text{आक}_0}{\text{क}}$$

आतां क_0 उष्णमान कायम राहून द दाब बदलून द_0 दाब झाला, तेव्हां आ_0 आकारमान होतें. तर

$$\text{क्ष द} = \text{आ}_0 \text{द}_0.$$

यांत क्ष ची वरील किंमत लिहून,

$$\frac{\text{आक}_0}{\text{क}} \times \text{द} = \text{आ}_0 \text{द}_0$$

$$\therefore \frac{\text{आद}}{\text{क}} = \frac{\text{आ}_0 \text{द}_0}{\text{क}_0}$$

वरील दोन्ही उदाहरणें या सारणीनें करूं.

(१) $\frac{\text{आद}}{\text{क}} = \frac{\text{आ}_0 \text{द}_0}{\text{क}_0}$; $\frac{७२० \times \text{क्ष}}{२६५} = \frac{७६० \times १५}{२८०}$

$$\therefore \text{क्ष} = \frac{२६५ \times ७६० \times १५}{२८० \times ७२०} = १४.१८\ \text{लि}.$$

(२) $\frac{\text{आद}}{\text{क}} = \frac{\text{आ}_0 \text{द}_0}{\text{क}_0}$

$$\frac{\text{क्ष} \times ४}{२७३} = \frac{७४० \times ५\frac{१}{२}}{२९१}$$

$$\therefore \text{क्ष} = \frac{२७३ \times ७४० \times ११}{२९१ \times ४ \times २} = ९५४.५\ \text{सश. मा.}$$

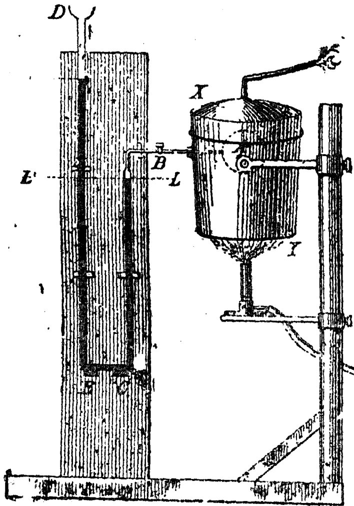
१०३. **वायूचा प्रसरणगुणक काढण्याचे रेग्नाल्ट याचे प्रयोग**-असें आपण पाहिलें कीं, जर वायूचें आकारमान कायम ठेविलें, आणि त्याचें उष्णमान ०°श. पासून एकेक अंश वाढवीत गेलें, तर त्याचा दाब प्रत्येक अंशास नियमित मानानें एकसारखा वाढत जातो; आणि कलम ९८ यांत आपण सिद्ध केलें कीं, जर **म्यारिअट** याचा सिद्धांत सर्वव्यापक व खरा असला तर वायूचें उष्णमान एकेक अंश चढत गेलें म्हणजे प्रत्येक अंशास ०°श. वरील दाबाच्या $\frac{१}{२७३}$ दाब वाढत जातो. सारांश जर **म्यारिअटचा** सिद्धांत सर्वव्यापक व खरा असला तर आकारमान कायम असतां दाब वाढण्याचा गुणक आकारमानाच्या प्रसरणगुणका एवढाच (दाब कायम असतां) असतो.

यास्तव या दोहोंपैकीं हव्याच्या एका रीतीनें प्रसरणगुणक आपणास काढितां येईल.

(१) दाब कायम ठेवून गेलुझाक यानें प्रयोग केले त्याप्रमाणें प्रयोग करून साक्षात प्रसरणगुणक काढितां येईल.

(२) किंवा रेग्नाल्ट यानें तीन रीतींनीं प्रसरणगुणक काढिला, त्यांपैकीं एक रीतीनें आकारमान (बहुतेक) कायम असतां दाब वाढविण्याचा गुणक काढितां येईल. या शेवटल्या रीतीचें खालीं वर्णन केलें आहे.

या रीतीचें तपशिलवार वर्णन न करितां यांमधील मुख्य मुख्य गोष्टींचें वर्णन करूं.



आकृति ५८ वी.

A B हा एक बारिक मानेचा गोळ आहे. हा गोल X Y या थोरल्या भांड्यांत असून गोलाची लांब बारीक मान भांड्यांतून बाहेर आली आहे. (आ० ५८ पहा) म्यारिअटचा सिद्धांत सिद्ध करण्यास जी वांकडी नळी घेतली होती त्या प्रकारच्या B C E D नळीस गोलाची मान गच्च जोडतां येते.

A गोलांत अगदीं कोरडी हवा भरण्याचीं आणि त्यास B C E D या दाबमापक यंत्राशीं जोडल्यावर त्यांमधील हवेचें परिमाण हवेंतेवढें ठेवण्याचीं साधनें असतात; परंतु तीं वरील साध्या आकृतींत दाखविलीं नाहींत.

प्रथम X Y भांडें वितळणाऱ्या बर्फानें भरून A मधील हवेचें उष्णमान ०°श. वर आणितात.

नंतर दाबमापकांत पारा भरून दोहों नळ्यांतील पारा L L′ या सारख्या उंचीवर आणितात. वर निर्दिष्ट केलेल्या साधनांनीं गोलांतील हवेचें परिमाण जास्त

कमी करून B C E D नळीस C ठिकाणीं जो काक असतो, त्यानें नळींतील पारा सोडून वर सांगितल्याप्रमाणें पारा सारख्या उंचीवर आणितां येतो. ही उंची धाकट्या नळीच्या बहुतेक माथ्यापर्यंत असते. ज्यापेक्षां आतां पारा सारख्या उंचीवर असतो, त्यापेक्षां धाकट्या नळींतील पाऱ्यावर गोलांतील ०°श. उष्णमानाच्या हवेचा जो दाब असतो, तो दुसऱ्या नळींतील पाऱ्यावरील हवेच्या दाबाइतका असला पाहिजे, व हा हवेचा दाब भारमापकावरून आपणास समजतो. असें समजूं कीं, हा दाब ह आहे.

नंतर X Y भांड्यांत पाणी भरून त्यास कढवितात. येणेंकरून A गोलांतील हवा प्रसरण पावते, व नळींतील पाऱ्यास लांब नळींत सारिते.

नंतर छोट्या नळींत पारा मूळच्या उंचीवर चढेपर्यंत D E नळींत पारा ओतितात. येणेंकरून प्रसरण पावलेली हवा या दाबानें आकुंचित होऊन मूळचा गोल व त्याची नळी यांतील जागा मात्र व्यापिते.

या वेळीं कढण्याचें उष्णमान पाहतात. वातावरणाचा दाब बदलला असल्यास तोही पाहतात. समजूं कीं, तो ह' झाला आहे. छोट्या नळीपेक्षां लांब नळींत पाऱ्याची उंची किती जास्त आहे, हें पाहून किती जास्त दाब आहे, तें काढतात. तो छ आहे असें समजूं.

यावरून इच्छित प्रसरणगुणक कसा काढितां येतो, त्याच्या आतां दोन रीति सांगूं. (१) स्थूलमानाच्या रीतीनें, आणि (२) अगदीं सूक्ष्म मानाच्या रीतीनें.

(१) प्रयोगाचें मुख्य तत्त्व सांगण्याकरितां व हिशोबांत फार भानगड न पडण्याकरितां प्रथम असें समजूं कीं, गोलाचें आकारमान उष्णमानाप्रमाणें बदलत नाहीं. म्हणजे त्यांतील वायूचें आकारमान कायम राहतें, आणि XY भांड्यांत जी हवा आहे त्या सर्व हवेचें उष्णमान आरंभीं ०°श. व अखेरीस १००°श. असतें.

[वास्तविक म्हटलें म्हणजे उष्णमानाप्रमाणें A गोलाचें आकारमान बदलतें, व गोलाच्या बाहेर जी थोडीशी हवा नळींत असते, तिचें उष्णमान बहुतेक हवेच्या उष्णमाना इतकेंच असतें. आणि कढण्याचें उष्णमान नेहमी १००°श. असतें, याचा नेम नसतो.]

पूर्वीं सिद्ध केलेल्या सिद्धांताप्रमाणें १००°श. वरील दाब=(१+१००ग) × ०°श. वरील दाब. यांत ग अक्षर प्रसरणगुणक दर्शवीत आहे. वर सांगितल्याप्रमाणें हें म्यारिअटच्या सिद्धांताप्रमाणें खरें आहे. प्रकरण २ यांतील शेवटला भाग पाहिला असतां स्पष्ट ध्यानांत येईल. (कलम ९८ ही पहा.)

प्रयोगावरून असें कळतें कीं,

$$१००°श.\ वरील\ दाब = छ + ह'$$

$$०°श.\ वरील\ दाब = ह$$

$$\therefore\ छ + ह' = (१ + १००\ ग)\ ह$$

$$\therefore\ १ + १००\ ग = \frac{ह' + छ}{ह}$$

$$\therefore\ ग = \frac{१}{१००}\left(\frac{ह' + छ}{ह} - १\right)$$

या रीतीनें ग या प्रसरणगुणकाची किंमत समजते.

(२) आतां अधिक सूक्ष्म रीतीनें विचार करूं, आणि A भांड्याच्या आकारमानांत जो फेरफार होईल, तो हिशेबांत धरूं. तसेंच कढण्याचें उष्णमान १००°श. च आहे, असें न समजतां उ° आहे, असें समजूं. परंतु अजूनही X Y भांड्याच्या गोलाबाहेरील चिंचोळ्या नळींतील थोड्या हवेचें आकारमान हिशेबांत धरणार नाहीं.

जर ०°श. उष्णमानावर A गोलाचें आकारमान $आ_0$ असेल तर उ° श उष्णमानावर (१+ग उ) $आ_0$ होईल. यांत ग हा कांचेचा घनप्रसरणगुणक आहे.

म्हणून त्या वायूचें ०°श. वर जेवढें आकारमान होतें, तेवढेंच आकारमान उ° श. उष्णमानावर नाहीं, व त्याचें आकारमान $आ_0$ च असतें तर त्याचा जेवढा दाब पडला असता, तेवढा दाब पडत नाहीं. जर त्याचें आकारमान कमी केलें, तर त्या मानानें त्याचा दाब वाढेल. म्हणून

$आ_0 : आ_0 (१+ग उ) ::$ {प्रसरण पावलेल्या A भांड्यांतील हवेचा दाब.} : {A भांड्याचा आकार मूळच्या इतका राहिल्यास जो दाब पडेल तो.}

डावीकडल्या पदाचा अर्थ हा कीं, आकार कायम ठेविला असतां जो दाब पडेल तो असा आहे. हाच दाब आपणास मापणें आहे. A भांडें प्रसरण पावलें नाहीं, असें समजून जो दाब आपण मापिला तो छ+हं. आहे परंतु भांडें प्रसरण पावलें आहे, म्हणून प्रसरण पावलेला आकार मूळच्याइतका आकुंचित झाल्यावर दाब किती पडेल तो काढूं.

$$\text{तो दाब} = \frac{(१+ग उ)\, आ_0}{आ_0} \times (छ+हं) = (१+ग उ)(छ+हं)$$

$$\therefore (१+उग)\, ह = (१+ग उ)(हं+छ).$$

$$\therefore ग = \frac{१}{उ}\left(\frac{(१+ग उ)(हं+छ)}{ह} - १\right)$$

१०४. दुसऱ्या रीति; यांपासून निघालेलीं अनुमानें—रेग्नाल्ट यानें दुसऱ्या रीतींनींही प्रसरणगुणक काढिला. त्याच्या रीतींत आकारमान व दाब दोन्ही बदलत होतीं.

परंतु सर्वांत महत्वाच्या अशा वर सांगितलेल्या दोन रीति होत.

(१) जेव्हां दाब कायम असतो, तेव्हां आकारमानाचा खरा प्रसरणगुणक निघतो.

(२) जेव्हां आकारमान कायम असतें, तेव्हां दाबाचा खरा प्रसरणगुणक निघतो.

म्यारिअटचा सिद्धांत अगदीं खरा असता, तर हे दोन्ही प्रसरणगुणक एकच असते; परंतु वास्तविक प्रकार असा आहे कीं, म्यारिअटच्या सिद्धांताप्रमाणें वायूचें वर्तन असतें तर दाबांत जितका फेरफार व्हावा, म्हणजे आकुंचनानें जितका दाब वाढावा, त्याहून हैड्रोजन शिवाय करून इतर सर्व वायूंचा दाब कमी वाढतो. आकारमान ज्या मानानें कमी होतें, त्या मानानें दाब वाढत नाहीं. म्हणून दाब कायम

असतां वायूस प्रसरण पावूं दिलें, आणि नंतर त्यास दाबानें आकुंचित करून मूळच्या आकारमानावर आणिलें, तर म्यारिअटच्या सिद्धांताप्रमाणें जेवढा त्याचा दाब वाढावा, तितका वाढत नाहीं.

विवक्षित वायूचें उष्णमान ०°श. असतां त्याचा दाब $दा_०$ आहे. त्यास आतां १०°श. पर्यंत उष्ण केलें तर त्याचा आकार वाढेल. त्यावर दाब घालून त्यास मूळच्या आकारमानावर आणिलें असतां म्यारिअटच्या सिद्धांताप्रमाणें नवा दाब खालील समीकरणानें निघावा.

$$दा_{१०} = (१+१० ग)\ दा_०$$

यांत ग हा प्रसरणगुणक आहे. परंतु वास्तविक इतका दाब न वाढतां कमी वाढतो म्हणून नवा दाब वास्तविक असा असतो.

$$दा_{१०} = (१ + १० गं)\ दा_०$$

यांतील गं हा प्रसरणगुणक ग पेक्षां लहान आहे. म्हणजे हैड्रोजन शिवाय इतर सर्व वायूंचें आकारमान कायम असतां त्यांचा दाब वाढण्याचा गुणक, दाब कायम असतां आकार वाढण्याच्या प्रसरणगुणकापेक्षां लहान असतो.

हैड्रोजनाचा मात्र दाबाचा प्रसरणगुणक कमी न होतां वाढतो. म्हणजे ग पेक्षां गं जास्त असतो.

परंतु साधारण उष्णमानें व साधारण दाब असतांच बहुधा आपण वायूंविषयीं विचार करितों, व अशा स्थितींत हैड्रोजन वायु अपवाद असतो. परंतु अत्यंत उष्णमान कमी केलें तर हैड्रोजनाचेंही वर्तन इतर वायूंप्रमाणें घडेल, आणि गं ची किंमत ग पेक्षां कमी असेल.

१०५. **कलम १०२ यांतील सारणी जास्त व्यापक करणें.** ७७ कलमांतील सारणीची व्यापकता कलम ८२ यांत वाढविली; त्याचप्रमाणें येथें १०२ कलमांतील सारणीची व्यापकता वाढवूं.

वायूच्या निरनिराळ्या भागांचे दाब, आकारमानें, आणि केवल उष्णमानें $आ_१ द_१ क_१$, $आ_२ द_२ क_२$, $आ_३ द_३ क_३$, इत्यादि आहेत. या सर्वांस एका भांड्यांत मिसळलें तेव्हां साधारण आकारमान, एकंदर दाब, आणि साधारण केवल उष्णमान आ, द, क झालीं.

यांस भांड्यांत घातल्यावर त्यांचे दाब बदलतील ते $दं_१, दं_२, दं_३$ असतील असें समजूं. या सर्वांच्या बेरजे बरोबर एकंदर दाब असेल.

$$\frac{आ_१ द_१}{क_१} = \frac{आ\ दं_१}{क}$$

$$\frac{आ_२ द_२}{क_२} = \frac{आ\ दं_२}{क}$$

$$\frac{आ_३ द_३}{क_३} = \frac{आ\ दं_३}{क}$$

यांची बेरीज करून

$$\frac{आ_१ द_१}{क_१} + \frac{आ_२ द_२}{क_२} + \frac{आ_३ द_३}{क_३} इ_० = (द_१ + द_२ + द_३) \times \frac{आ}{क} = \frac{आद}{क}$$

या सारणीचा कधीं कधीं उपयोग होतो. अखेरचें उष्णमान सहजां काढितां येत नाहीं. परंतु विवक्षित स्थळीं त्या स्थळाचें उष्णमान येईपर्यंत वायूस ठेवावें, म्हणजे नुस्तें उष्णमापक पाहूनच केवळ उष्णमान काढितां येईल.

प्रकरण ५ यावर प्रश्न व उदाहरणें.

(जेथें दाब सांगितला नाहीं तेथें तो कायम आहे असें समजावें.)

(१) विवक्षित वायूचा ०°श. उष्णमानावर जो आकार असेल, त्याच्या तिप्पट आकार होण्यास त्याचें उष्णमान किती वाढविलें पाहिजे ? हें उष्णमान शतभागमान व केवलमान या दोहोंमध्यें काढ.

(२) ०°श. उष्णमानावर ६ घनफूट हैड्रोजन वायु आहे. त्यानें बरोबर ३च घनफूट जागा व्यापावी, असें मनांत आहे. तर त्याचें उष्णमान किती कमी करावें? आणि त्याचें आकारमान २० घनफूट होण्याकरितां किती उष्णमान चढवावें ?

(३) ०°श. उष्णमान आणि ३० इंच दाब असतां वायूचें विवक्षित आकारमान आहे. जर दाब ६० इंचपर्यंत वाढविला, तर त्याचें आहे तेंच आकारमान राहण्यास उष्णमान किती वाढविलें पाहिजे ?

(४) १९°श. उष्णमान असतां एका विमानांत ८,००० घनफूट वायु आहे;

(अ) जेथें ४°श. उष्णमान आहे, अशा ठिकाणीं तें विमान चढलें, तर दाब समान असतां विमानांतील वायूचें आकारमान काय होईल ?

(ब) जर दाबही २८ इंचांपासून १८ इंचांपर्यंत कमी झाला, तर किती वायु बाहेर निघून जाईल ?

(५) ०°श. उष्णमानावर एका वायूचें आकारमान १०० घनमात्रा आहे. त्याचें उष्णमान १००°श. पर्यंत वाढविलें तर आकारमान काय होईल ?

(६) १४°श. या एकाच उष्णमानावर दोन भांड्यांत हवा आहे. परंतु एकांतील हवेचा दाब ७६२ सश. मात्रा, आणि दुसऱ्यांतील हवेचा दाब ७६५ सश. मात्रा. याप्रमाणें आहेत. प्रत्येकाचें उष्णमान ३४° श. पर्यंत चढविलें, तर दोहोंचा आकार कायम ठेविला असतां कोणत्या भांड्यांतील हवेचा दाब जास्त वाढेल ?

(७) २७° श उष्णमान आणि ७२० सश. मा. दाब असतां हवेचें आकारमान १५ लीटर आहे. तर ०°श उष्णमान ७६० सश. मा. दाब असतां त्या हवेचें आकारमान काय होईल ?

(८) प्रमाणभूत दाबाचा व उष्णमानाचा (०° श उष्णमान, ७६० सश. मा. दाब) १० लीटर हैड्रोजन तयार करावयाचा आहे. परंतु ज्या रसायनशाळेंत हा वायु तयार करणार आहों, तेथचें उष्णमान १६° श आहे, व दाब ७२० सश. मा. आहे. तर किती वायु तयार केला पाहिजे?

(९) ०°श व ७६० सश. मा. दाब असतां, एक लिटर हवेचें वजन १.२९३ ग्राम असतें. तर १५°श. उष्णमान आणि ७६३ सश. मा. दाब असतां एक लिटर हवेचें वजन काय असेल?

(१०) ज्या नळींत गच्च बसणारा दट्ट्या आहे, त्या नळींत १४°श. उष्णमानावर कांहीं हवा भरलेली आहे; व तिचा दाब दट्ट्यावर दर चौरस इंचास १५ पौंड या मानानें पडत आहे. या हवेस संकोचित करून तिचें आकारमान मूळच्याहून $\frac{3}{4}$ कमी केलें तेव्हां तिचें उष्णमान २०°श. होतें. तर त्या हवेचा दट्ट्यावर दरचौरस इंचास किती पौंडांचा दाब पडेल?

(११) ०°श उष्णमान असतां आणि ७६० सश. मा. दाब असतां १ ग्राम हैड्रोजनाचा आकार ११.२ लीटर असतो. आणि ०°श उष्णमान आणि ७६० सश. मा. दाब असतां एक लीटर हवेचें वजन १.२९३ ग्राम असतें. तर ०°श वर हैड्रोजनाचें जें दाढर्य असतें, तितकेंच दाढर्य हवेचें होण्यास तिचें उष्णमान किती वाढविलें पाहिजे?

(१२) १, २, आणि ३ लीटर हवा ३०, ६०, ९० इंच असे अनुक्रमें दाब असतां एकत्र मिसळून मिश्रणाचें आकारमान ४ लिटर होईपर्यंत तिला संकुचित केलें आहे. तर खालीं लिहिलेल्या तीन वेळीं मिश्रणाचा दाब काय असेल?

(अ) जेव्हां उष्णमान समान असेल;

(ब) जेव्हां मूळचें उष्णमान प्रत्येकाचें ५०°श. असेल, आणि मिश्रणाचें उष्णमान १००°श. असेल;

(क) जेव्हां मूळचीं तिहींचीं उष्णमानें १३°श. ७°श. आणि १७°श. अशीं अनुक्रमें असतील, आणि मिश्रणाचें उष्णमान २७°श. असेल.

(१३) ०°श. आणि ३० इंच दाब असतां विवक्षित आकारमानाच्या कोरड्या हवेचें वजन ५० ग्रेन आहे; तर २५°श. आणि ४० इंच दाब असतां त्याच आकारमानाच्य हवेचें वजन काय होईल?

प्रकरण ६.

द्रवीभवन आणि घनीभवन.

१०६. **द्रवीभवन**—घन पदार्थास उष्णता लाविल्यानें त्यांजवर दोन परिणाम [illegible] असें दुसऱ्या प्रकरणांत आपणांस समजलें. घन पदार्थांचें उष्णमान वाढतें, तेव्हां [illegible] ते प्रसरण पावतात. उष्णतेविषयींच्या प्रस्तुतच्या कल्पनेप्रमाणें याचा [illegible] आहे कीं, पदार्थांचे कण जास्त जोरानें पुढें मागें सरकूं लागतात, आणि [illegible] अधिक जोराच्या चलनामुळें ते एकमेकांपासून अधिक दूर जातात.

[illegible] हें चलन अधिकाधिक वाढत चाललें, (म्हणजे जर उष्णमान याहून [illegible]), तर घन पदार्थांच्या कणांमध्यें जें परस्पर बंधन आहे, तें नाहींसें होऊन [illegible] जास्त कमी द्रवरूप देण्यास उष्णता कारणीभूत होते.

[illegible] स्वरूपावरून असा परिणाम घडावा असें अनुमान होतें, व याचप्रमाणें [illegible] घडून येतें. घन पदार्थांचें उष्णमान वाढविल्यानें कांहीं उष्णमानावर तो पदार्थ [illegible] किंवा हळू हळू द्रवरूप धारण करितो, असा साधारण नियम आहे.

[illegible]—केंव्हेक विशेष प्रसंगीं घन पदार्थ एकदम वायुरूपांत जातो. याविषयीं प्रक- [illegible] विशेष वर्णन करूं.

[illegible] **द्रवीभवन होत असतां उष्णता अदृश्य होते**—उष्णमापकाची कांच फुटूं [illegible] नियाभोंवतीं कांहीं आच्छादन घालून त्यासभोंवतीं घन पदार्थांचे लहान [illegible] तुकडे करून ठेविले आणि त्यांस उष्ण केलें तर पुढील परिणाम नजरेस [illegible].

[illegible] उष्णता तुकड्यांस एकसारखी लागत असली म्हणजे त्यांचें उष्णमान एक [illegible] वाढत जाईल. परंतु घन पदार्थ द्रवरूपांत जाऊं लागला म्हणजे उष्णमापक [illegible] चढेल किंवा त्या उष्णमानावर चढण्याचें थांबेल. नंतर सर्व घन पदार्थ वि- [illegible] उष्णमापक पुनः जास्त जलदीनें चढूं लागेल.

[illegible] उष्णता त्या पदार्थांत जात असते. कारण दिव्यावर आणि ज्या [illegible] घन पदार्थास वितळवीत आहों त्या भांड्याच्या धर्मावर, उष्णतेचा पुरवठा [illegible]. भांडें शीघ्र किंवा मंदवाहक असेल, आणि शीघ्र किंवा मंदशोषक असेल, त्याप्रमाणें त्यांतून उष्णता घन पदार्थास पोंचेल. यास्तव द्रवीभवन होत असतां उष्णमान चढण्याचें बंद होतें, तें उष्णता अदृश्य झाल्यामुळें असावें असें अनुमान निघतें.

१०८. **याचें स्पष्टीकरण व साम्य**—जी उष्णता अदृश्य होते, तिला **गुप्त किंवा** अनुद्भूत उष्णता असें म्हणतात. ही उष्णता द्रवांतच असते; परंतु ती अशा रूपानें अ- [illegible], जिचें ज्ञान उष्णमापकानें व स्पर्शानें होत नाहीं. उष्णतेच्या प्रस्तुतच्या कल्प-

नेप्रमाणें उष्णता ही गति असून प्रवाही पदार्थ नाहीं. जर उष्णता प्रवाही पदार्थ असता, तर कोणत्या तरी रीतीनें तो ज्ञानेंद्रियाच्या आड गेला असता, व त्याचें ज्ञान कदाचित् झालें नसतें. तर प्रस्तुतच्या कल्पनेस अनुसरून या गोष्टीचें बरोबर कारण कसें काढितां येतें, याविषयीं विचार करूं. हें समजण्यास दुसऱ्या दोन गोष्टींचें वर्तन आपणास उपयोगी पडेल.

(१) अ ब ही एक सपाटी पानसळींत आहे; आणि प ही एक तिजवर गाडी आहे. आरंभीं कोणत्या तरी शक्तीनें तिला वेग दिला आहे व त्या वेगानें A, B सपाट रस्त्यावरून तिराच्या टोंकानें दर्शविलेल्या दिशेनें चलन पावत आहे.

आकृति ५९ वी.

जर तिला मार्गांत कांहीं घर्षणाचा प्रतिबंध होत नसेल, आणि रस्ता जर पानसळींत असेल, म्हणजे तो जर सर्व भागीं पृथ्वीच्या मध्यापासून सारख्या अंतरावर असेल तर त्याच वेगानें गाडी पुढें जाईल. (आ. ५९ पहा.)

परंतु जर ही गाडी B C या टेंकडीपाशीं आली, तर चढण्याच्या रस्त्यांत जरी घर्षणाचा प्रतिबंध नसला, तरी टेंकडीवर चढत असतां तिचा वेग हळू हळू कमी होत जाईल. याचें कारण काय तें पाहूं. तूर्त ह्याविषयीं विशेष गहन विचार न करितां आपणास असें ह्मणतां येईल कीं, या ठिकाणीं गाडी कांहीं काम करीत आहे; म्हणजे कांहीं प्रतिबंधाचें अतिक्रमण करीत आहे, ह्मणून तिचा वेग कमी होतो. कारण पृथ्वीच्या अधोमुख गुरुत्वाकर्षणाविरुद्ध आपलें वजन गाडी चढवीत आहे. गाडीचा वेग कमी होतो; परंतु त्याच्या मोबदला गाडीच्या अंगीं दुसरा कांहीं विशेष गुण येतो. पृथ्वीपासून कांहीं उंचीवर पोंचल्यावर तिचा वेग अगदीं नष्ट होतो; परंतु तेथें तिला मोकळें सोडिलें, तर ती आपोआप खालीं उतरूं लागते. पूर्वींच्या A B सपाटीवर वरून खालीं उतरल्यावर तिच्या अंगीं परत मूळचा वेग येतो. म्हणून या टेंकडीवर गाडी गेली ह्मणजे गाडीची गति नष्ट होते. परंतु तिच्या मोबदला गाडीस फायदेशीर स्थळ प्राप्त होतें.

(२) तीर वर उडविला म्हणजे काय परिणाम घडतो, याचा विचार करूं. तीर सोडिला म्हणजे त्याच्या अंगीं अत्यंत वेग असतो. परंतु जसजसा तो वर जातो, त्याप्रमाणें त्याचा वेग कमी होत जातो; आणि कांहीं उंचीवर गेल्यावर तो अगदीं थांबतो. हवेमधून चढतांना जो तिच्या घर्षणाचा त्यास प्रतिबंध होतो, तो नसता तर याहून थोडयाशा जास्त उंचीवर गेल्यावर मात्र तो तीर स्थिर झाला असता. या उदाहरणांतही काम झाल्यामुळें गति नष्ट झाली : कारण तिरास गुरुत्वाच्या विरुद्ध येथें वर चढावें लागलें. तीर पुनः खालीं उतरला ह्मणजे त्याच्या अंगीं मूळचा वेग येतो. म्हणून जें त्यास स्थान मिळालें होतें, तेथें वास्तविक त्याच्या अंगीं तितका वेग होता.

यावरून द्रवीकरणाचें स्पष्टीकरण—द्रवीभवनांत उष्णता अदृश्य होते. उष्णता ही गति आहे; असें समजतात. ह्मणून वरील उदाहरणाच्या साम्यावरून स्वाभा-

विकच असा प्रश्न उत्पन्न होतो कीं, या ठिकाणींही अदृश्य झालेल्या उष्णतेच्या मोब-दला कांहीं काम झालें आहे कीं नाहीं ?

होय, वास्तविक काम झालें आहे. घन पदार्थांचे कण परस्परापासून दूर लोटले जाऊन त्यांनीं जें एकमेकांस आकर्षून धरिलें होतें, तें आकर्षण नाहींसें झालें; आणि रूपांतर होऊन घन पदार्थांचा द्रवरूपी पदार्थ झाला. कलम ११४ यांत पुढें असें दाखवूं कीं, गाडी आणि तीर यांस जसें गति नष्ट झाल्यावर फायदेशीर स्थान मिळालें, त्याचप्रमाणें येथें पदार्थास फायदेशीर स्थिति प्राप्त झाली आहे, आणि पुनः द्रवाच्या कणांस अधिक जवळ आणून त्यांस घनरूप दिलें म्हणजे नष्ट किंवा अदृश्य झालेली सर्व उष्णता आपणास परत मिळते.

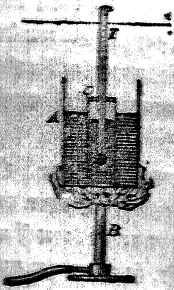
प्रथमतः घन पदार्थ वितळला म्हणजे उष्णता अदृश्य होते, हें दाखविण्याकरितां कांहीं उदाहरणें देऊं.

१०९. द्रवीभवनांत उष्णता अदृश्य होण्याचीं उदाहरणें—ही गोष्ट आपणांस दोन रीतींनीं दाखवितां येते.

(१) घनपदार्थास उष्ण करूं व तो द्रवरूपांत जात असतां त्याचें उष्णमान स्थिर राहील, किंवा उष्णमान सावकाश वाढेल असें दाखवूं. घन पदार्थांत उष्णता एक-सारखी जात असतां वरील प्रकार घडतो असें दाखवूं.

प्रयोग १—एका कांचेच्या पंचपात्रांत बर्फाचा चुरा भरून चुऱ्याच्या वरच्या भागीं चुऱ्यांत बुडे असें उष्णमापक त्यांत घालावें. नंतर पंचपात्राखालीं दिवा ठेवावा. सर्व बर्फ वितळेपर्यंत उष्णमापक ०° श वर बहुतेक स्थिर राहील, आणि नंतर चढूं लागेल.

प्रयोग २ A या भांड्यांत थोड्या उष्णमानावर वितळणारा हीण धातु आहे. C या नळींत पारा असून तींत त हें उष्णमापक आहे. C नळी A भांड्यांत ठेविली आहे. याचें कारण एवढेंच कीं, जर धातूस उष्णमापकाच्या फुग्याभोंवतीं घन होऊं दिलें तर उष्णमापक फुटेल. उष्णमापक पारा असलेल्या नळींत ठेविल्यानें फुटण्याचें भय न राहतां उष्णमापकानें उष्णमान दर्शविलें जाईल; आणि हवें तेव्हां त्यास बाहेर काढितांही येईल.



आकृति ६० वी.

A भांड्याखालीं बनसेनचा किंवा मद्यार्काचा दिवा ठेवावा. दर पांच किंवा दहा सेकंदांनीं उष्णमापक किती चढलें आहे, हें पाहून उष्णमान कसें चढत आहे, तें नीट जपून पाहावें. दर दहा किंवा पांच सेकंदांच्या शेवटीं उष्णमानें काय काय होतात, तें टिपून ठेवावें; म्हणजे असें आढळेल कीं, जेव्हां हीण धातु वितळून द्रवरूपांत जाऊं लागतो, तेव्हां उष्णमापक स्थिर होतें.

हें लक्षांत ठेवलें पाहिजे कीं, बर्फ किंवा गंधक यांसारखा घन पदार्थ द्रवरूपांत एकाएकीं गेला, तर द्रवीभवन होत असतां उष्णमान स्थिर राहतें. परंतु रूपांतर

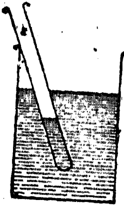
सावकाश व हळू हळू होत असेल, म्हणजे कांच, लाख, किंवा वरील हीण धातु याप्रमाणें घन पदार्थ रबरबीत होऊन नंतर द्रवरूपांत जात असेल, तर रूपांतर होत असतां उष्णमान सावकाश मात्र चढूं लागतें.

(२) द्रवीभवन होत असतां जर आपण बाह्य उष्णता लाविली नाहीं, तर खुद्द पदार्थ किंवा त्या संनिध जो दुसरा पदार्थ असेल, तो शीत होईल; आणि येणेंकरूनही उष्णता अदृश्य होते असें दिसेल.

प्रयोग १—हवेच्या उष्णमापकाच्या फुग्याभोंवतालच्या भांड्यांत पाणी घालून त्यांत आमोनियम नैत्रेट थोडासा घातला, तर तो पाण्यांत विद्रुत होईल. म्हणजे द्रवरूपांत जाईल, आणि यामुळें हवेचें उष्णमापक शीत झालेलें दृष्टीस पडेल.

प्रयोग २—बर्फ आणि मीठ यांस एकत्र मिसळलें, तर (पाण्यास शोषण करण्याचा व त्यांत विद्रुत होण्याचा धर्म मिठाच्या अंगीं असल्यानें) मिठाच्या योगानें बर्फ वितळतें. परंतु सर्व घन पदार्थांत बर्फास वितळण्यास फार उष्णता लागते. म्हणून उष्णमान इतकें उतरतें कीं, परीक्षानळींत पाणी घेऊन ती नळी बर्फ आणि मीठ यांच्या मिश्रणांत बुडवून तिजमधील पाण्यास सहज थिजवितां येतें.

प्रयोग ३—हैड्रोक्लोरिक आसिडांत सोडिअम सल्फेट त्वरित विद्रुत होतो; आणि हा घन पदार्थ विद्रुत होतांना उष्णता अदृश्य होते. एका पंचपात्रांत सोडिअम सल्फेट भरून त्यांत थोडें पाणी असलेली नळी खुपसावी. नंतर सल्फेटावर हैड्रोक्लोरिक आसिड ओतावें. नंतर परीक्षा नळीनें मिश्रण ढवळलें तर नळींतील पाण्याचें उष्णमान उतरेल व पाणी थिजेल. (येथील हवेंत पाणी न थिजतां त्याचें उष्णमान ४° श पर्यंत मात्र उतरतें.)

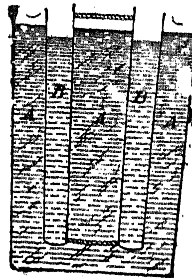


टीप—अगदीं पातळ कांचेची नळी घेऊन थोडें पाणी घालावें, म्हणजे प्रयोग चांगला साधतो. (आ. ६१ पहा.)

आकृति ६१ वी.

११०. **शीतताजनक मिश्रणांचा उपयोग**—कृत्रिमरीत्या बर्फ करण्यास, दूध थिजविण्यास वगैरे शीतताजनक मिश्रणांचा व्यवहारांत उपयोग कारितात.

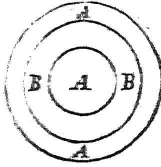
जो द्रव थिजवावयाचा असेल, त्याच्या बेताच्या जाडीचा थर शीतताजनक मिश्रणाच्या सन्निध ठेवावा. हालवून, ढवळून किंवा पुढें मागें सारून मिश्रणास गति दिल्यानें द्रवाच्या थिजण्यास साहाय्य होतें. कारण यानें मिश्रणाच्या वितळण्याचें मान वाढतें; (व त्यामुळें उष्णता अदृश्य होण्याचेंही मान वाढतें), आणि चलनानें दर वेळीं, शीतताजनक मिश्रणासन्निध जो द्रव थिजवावयाचा असेल, त्याचा नवानवा भाग येतो.



आकृति ६२ वी.

सोबतच्या आकृतींत थिजविण्याच्या एका यंत्राचें छिन्न दाखविलें आहे. B B हें एक पंचपात्र आहे. दोहों पत्र्यांमध्यें

पोकळ जागा राहावी असे पत्रे जोडून हें भांडें केलेलें असतें व दोहों पत्र्यांमधील पोकळींत थिजण्याचा द्रव घालतात, व हें भांडें दुसऱ्या थोरल्या पंचपात्रांत ठेवितात. यामुळें याच्या आंतील व बाहेरील A A बाजूंस शीततोजनक मिश्रण असतें. भांड्याच्या विशेष आकारामुळें जें त्यांत बर्फ होतें, तें भांडें पालथें करून व त्यावर थाप मारून बर्फ काढितां येतें. (आ. ६२ पहा.)



आकृति ६३ वी.

भांडें वरून कसें दिसतें, तें या दुसऱ्या आकृतींत दाखविलें आहे. (आ. ६३ पहा.)

पुढील कोष्टक डिशानल याच्या पुस्तकांतून घेतलें आहे.

पदार्थ.	वजनें.	उष्णमान उतरण्याचें मान.
बर्फाचा चुरा.	२	०°श. पासून —२१°श.
मीठ.	१	
हीम (स्नो.)	३	०°श. पासून —४८° श.
क्याल्सिअम क्लोराइडाचे स्फटिक (खडे)	४	
आमोनियम नैत्रेट	१	+१०° श. पासून —१५° श.
पाणी	१	
सोडिअमसल्फेट	८	+१०° श. पासून —१७° श.
हैड्रोक्लोरिक आसिड	५	

१११. **रसायनकार्य हिशेबांत घेतलें पाहिजे.** जेव्हां घन पदार्थ वितळतो, किंवा द्रवांत विद्रुत होतो, तेव्हां उष्णता अदृश्य होते, असें जें वर सांगितलें आहे, तें निःसंशय सर्व साधारणपणें खरें आहे. परंतु द्रवामध्यें घन पदार्थ विद्रुत केल्यावर जर कांहीं रसायन कार्य घडलें, तर त्यापासून कदाचित् इतकी उष्णता उत्पन्न होईल कीं, वितळण्यानें किंवा विछेदनानें उष्णता अदृश्य होऊन जी शीतता उत्पन्न होणार ती कदाचित् मुळींच दृष्टोत्पत्तीस येणार नाहीं.

रसायन कार्यापासून जी उष्णता उत्पन्न होणार ती यामुळें वास्तविक कमी होईल असा परिणाम नजरेस येईल.

११२. **घनीभवनांत उष्णता दृश्य होते**—आतां असें समजूं कीं द्रवरूपी पदार्थ पुनः घनरूपांत जात आहे; तर स्वाभाविकच असें अनुमान करूं कीं, द्रवीकरणांत जितकी उष्णता अदृश्य झाली होती, तेवढी पुनः दृश्य होईल. कारण जर अदृश्य झाल्यापेक्षां कमी उष्णता दृश्य झाली, किंवा मुळींच झाली नाहीं, किंवा कांहीं उष्णता अदृश्य झाली, तर घन पदार्थास वितळवून पुनः त्या द्रवास घनरूप प्राप्त होतांना (म्हणजे वितळण्यापूर्वी जी स्थिति होती तीच स्थिति पुनः प्राप्त होतांना) कांहीं उष्णता अथवा अदृश्य होईल, व तिच्या मोबदला कांहीं राहणार नाहीं, असें घडेल. परंतु ही गोष्ट आपल्या सर्व अनुभवाविरुद्ध आणि कर्तृत्वशक्तीच्या नित्यत्वाबद्दल जो

मोठा सिद्धांत आहे, त्या विरुद्धही होईल. या सिद्धांताविषयीं पुढील एका प्रकरणांत विवेचन केलें आहे.

११३. **तुल्यगोष्टी**—आह्मी ज्या मागें तुल्य गोष्टी सांगितल्या, त्यांवरूनही वास्तविक काय घडेल, तें समजण्यास सहाय्य होईल.

(१) टेंकडीवर जाऊन थांबलेल्या गाडीस पुनः खालीं उतरूं दिलें, तर गाडीस जें फायदेशीर स्थान मिळालें होतें, तें नाहींसें होईल; परंतु गाडीच्या मार्गी जी आरंभीं गति होती, तेवढी तिला पुनः प्राप्त होईल. (२) जेव्हां तीर खालीं येतो, तेव्हां ज्या वेगानें तो प्रथमतः निघाला होता, तितका वेग त्यास पुनः प्राप्त होतो; परंतु फायदेशीर स्थानापासून मात्र तो भ्रष्ट होतो.

११४. **वरील गोष्टीच्या स्पष्टीकरणार्थ प्रयोग**—घनीभवन होतांना जें घडतें त्याविषयीं हें वरील अनुमान सत्य आहे असें सहज दाखवितां येतें. सोडियमसल्फेटासारखा एकादा घन पदार्थ पाण्यांत विरघळवून त्याचा फार दाट द्रव केला, तर आपल्या पूर्वीच्या प्रयोगांवरून आपणास असें निःसंशय समजलें आहे कीं, द्रवीभवन होतांना उष्णता अदृश्य होते, म्हणजे त्या उष्णतेनें उष्णमान वाढत नाहीं, आणि कांहीं उष्णता द्रवीकरणाचें काम करण्यांत खर्च होते. (या ठिकाणीं घनीभवन होतांना उष्णता दृश्य होते हें दृष्टोत्पत्तीस येत नाहीं; परंतु हें दाखविण्याकरितां दुसऱ्या प्रयोगाची योजना केली आहे.) याप्रमाणें तयार केलेला दाट द्रव कुपींत घालून बंद करून थंड होण्याकरितां एकीकडे ठेवावा.

हा द्रव पुनः हालविला तर फार दाट असल्यास स्फटिकीभवन पावेल; जर फार दाट नसला, तर स्फटिकीभवनास आरंभ करण्यासाठीं त्या क्षाराचा एक घन तुकडा त्यांत टाकावा लागेल. घनीभवनाच्या वेळीं उष्णता दृश्य होईल, असें अनुभवास येईल.

प्रयोग—वर सांगितल्याप्रमाणें बऱ्याच कुप्या किंवा फ्लास्कें तयार केल्यावर (कदाचित् प्रयोग एकांत फसल्यास दुसरें तयार असावें म्हणून) एका फ्लास्काचें जपून बूच काढावें. एक उष्णमापक घेऊन त्याचा फुगा पाण्यांत बुडवून त्यावर सल्फेटाच्या खड्यांची पूड शिवरावी. (आ. ६४ पहा) उष्णमापकानें उष्णमान किती आहे तें पाहून त्यास हळू व फार जपून फ्लास्कांतील द्रवांत बुडवावें. फुगा त्यावरील पुडीसुद्धां द्रवांत बुडतांच फुग्याभोंवतीं सूचिकाकार कांड्या जमतील; आणि त्या इतक्या जमतील, व फ्लास्कांतील द्रवाचें इतकें घनीभवन होईल कीं, त्यांच्या योगानें उष्णमापक फ्लास्कांत उभें राहील. आणि या वेळीं उष्णमापक बरेंच (सुमारें २५° श. किंवा २०° श. पर्यंत चढेल. यावरून घनीभवनाच्या वेळीं उष्णता दृश्य होते, हें सिद्ध होईल). येथल्या उष्ण हवेंत सल्फेटाचा बराच दाट द्रव केला तरी स्फटिकीभवन होण्याजोगा तो शीत होत नाहीं. कृत्रिमरीत्या फार जपून करावा लागतो.



आ. ६४ वी.

११५. **उष्णतेचें परिमाण आणि तें मापणें**—या स्थळीं उष्णतेच्या परिमाणाचा विचार करण्यास मार्गे वळूं. उष्णमान किंवा उष्णतेचा तीव्रपणा यापासून उष्णतेच्या परिमाणाचा अर्थ अगदीं भिन्न असतो, असें प्रकरण १ यांत स्पष्ट करून दाखविलें आहे. हा वेळपर्यंत फक्त उष्णमानाविषयीं विचार केला, आणि उष्णमानांत फेरफार झाल्यानें पदार्थांच्या आकारांत किंवा आकारमानांत जो फेरफार होतो, त्यावरून आपण उष्णमान मापीत गेलों. परंतु आतां आपण पाहिलें कीं, घन पदार्थ वितळून असतां कांहीं उष्णता अदृश्य होते. ती किती अदृश्य होते, हा स्वाभाविकच प्रश्न उत्पन्न होतो.

या प्रश्नाचें उत्तर देण्यापूर्वी उष्णतेचें परिमाण याचा अर्थ आपण काय समजतों, तें परिमाण कसें मापावें, याचा विचार केला पाहिजे. जेव्हां आपणास लांबी मापणें असतें, तेव्हां लांबीनें कांहीं तरी एक—उदाहरणार्थ फूट—एकं प्रमाण घेऊन त्याच्या किती पट ती लांबी आहे, तें काढितों. यार्ड, मैल इत्यादि प्रमाणें फुटावरूनच निघालीं आहेत. तसेंच एकाद्या पदार्थाचें वजन मापावयाचें असलें म्हणजे कांहीं नियमित वजनास उदाहरणार्थ एक पौंडास एकं स्थानीं घेऊन त्याच्या कितीपट तें वजन आहे तें काढितों.

तथापि उष्णता तिच्या परिणामांवरून आपणास मापिली पाहिजे.

विवक्षित परिमाणाची उष्णता, किती पौंड बर्फास वितळवूं शकेल, हें काढून, किंवा त्याच उष्णतेनें किती पौंड पाण्याचें उष्णमान ०° श. पासून १° श. पर्यंत चढेल, हें पाहून, मापितां येईल, हें उघड आहे. एक पौंड पाण्याचें १° श. उष्णमान वाढविण्यास जी उष्णता लागेल, ती उष्णता मापण्यास प्रमाणभूत किंवा एकं स्थानीं घेऊं. आणि या उष्णतेस एक अंश उष्णता असें नांव देऊं

टीप-प्रयोगाअंतीं असें समजलें आहे कीं, एक पौंड पाण्याचें ०° श. पासून १° श. पर्यंत किंवा २०° श. पासून २१° श. पर्यंत इत्यादि किंवा $\frac{१}{२}$ पौंड पाण्याचें २° श. उष्णमान वाढविण्यास सारखीच उष्णता लागते.

म्हणून जर कांहीं उष्णतेनें विवक्षित पौंड पाण्याचें कांहीं शतभाग उष्णमान चढविलें असेल, तर पाण्याच्या पौंडांच्या संख्येस जितके अंश उष्णमान चढलें असेल, या अंशांच्या संख्येनें गुणिलें असतां जो गुणाकार येईल त्या संख्येनें या उष्णतेस आपणास दर्शवितां येईल.

उ० १—कांहीं उष्णतेनें ५ पौंड पाण्याचें ६° श. उष्णमान चढविलें आहे, तर ती उष्णता किती असेल ?

उत्तर ६ × ५ = ३० अंश.

उ० २—कांहीं उष्णतेनें २ औंस पाण्याचें २$\frac{१}{२}$° श. उष्णमान चढविलें आहे, तर ती उष्णता किती ?

उत्तर. $\frac{२}{१६}$ ∴ $\frac{५}{२}$ = $\frac{१०}{३२}$ अंश.

११६. **पाण्याची अनुद्भूत उष्णता—०°श.** उष्णमानाचें बर्फ वितळून त्याचें ०°श. उष्णमानाचें पाणी होत असतां किती उष्णता अदृश्य होते, हें बरोबर रीतीनें काढण्यास आतां यत्न करूं.

टीप—पूर्वी सांगितल्याप्रमाणें उष्णता खर्च होऊन बर्फाचें पाणी होईल; परंतु उष्णमान मुळींच वाढणार नाहीं.

प्रयोगाधारें असें समजलें आहे कीं, ०° श. उष्णमानाचें १ पौंड बर्फ वितळून त्याचें ०° श. उष्णमानाचें १ पौंड पाणी होण्यास जवळजवळ ८०° श. उष्णता लागते; ह्मणजे १ पौंड बर्फास वितळवून त्याच उष्णमानाचें एक पौंड पाणी करण्यास जी उष्णता लागते, तिनें ८० पौंड पाण्याचें १° श. उष्णमान चढेल; किंवा १ पौंड पाण्याचें ८०° श. किंवा २ पौंड पाण्याचें ४०° श. उष्णमान चढेल.

हीं गोष्ट नेहमी थोडक्यांत खालीं लिहिल्याप्रमाणें दर्शवितात.

" **पाण्याची अनुद्भूत उष्णता ८० आहे.** " हें प्रयोगानें कसें काढितात, तें विशिष्ट उष्णतेच्या प्रकरणांत पुढें सांगितलें आहे.

उदाहरण १—जर आपण ८०° श. उष्णमानाच्या १ पौंड पाण्यांत किंवा ४०° श. उष्णमानाच्या २ पौंड पाण्यांत ०° श. उष्णमानाचें १ पौंड बर्फ वितळविलें तर सर्व पाणी अखेरीस ०° श. उष्णमानाचें होईल. कारण या सर्व ठिकाणीं १ पौंड बर्फ वितळण्यांत ८०° श. उष्णता खर्च होते.

उ° २—पाणी अगदीं शांत ठेवून व दुसरी खबरदारी घेऊन त्यास ०° श. उष्णमानाहून कमी उष्णमानावर थिजूं न देतां नेतां येतें. परंतु त्या पाण्यास यत्किंचित् हालविलें किंवा त्यांत बर्फाचा लहानसा खडा टाकिला, तर त्यानें तें थिजूं लागतें. परंतु जो प्रत्येक भाग थिजतो, त्यांतून कांहीं उष्णता बाहेर पडते. म्हणून वस्तुतः थोडेंसें पाणी मात्र थिजेल, हें उघड आहे. पुढील उदाहरणांचा विचार करूं.

(अ) १ पौंड पाण्यास त्याचें—१०° श. उष्णमान होईपर्यंत शीत करून नंतर त्यास हालविलें, तर किती पाणी थिजेल? सर्व पाण्याचें ०° श. पर्यंत उष्णमान चढविण्यास जितकी उष्णता लागेल, तितकी उष्णता मुक्त करण्यापुरतें मात्र पाणी थिजेल. याहून जास्त किंवा कमी थिजणार नाहीं, हें उघड आहे.—१०° श. उष्णमानाच्या १ पौंड पाण्यास ०° श. उष्णमानापर्यंत चढविण्यास दहा अंश उष्णता लागेल. इतकी उष्णता $\frac{१०}{८०}$ पौंड किंवा २ औंस पाणी थिजल्यानें बाहेर पडेल.

(ब) हालविल्यानें सर्व पाणी थिजावें अशी अपेक्षा असल्यास १ पौंड पाण्याचें उष्णमान ०° श. खालीं किती उतरविलें पाहिजे? —८०° श. पर्यंत उतरविलें पाहिजे हें उघड आहे, कारण १ पौंड पाणी थिजल्यानें ८०° श. उष्णता बाहेर पडेल, व तिनें सर्वांचें उष्णमान ०° श. पर्यंत चढेल.

११७. **पाण्याच्या मोठ्या अनुद्भूत उष्णतेचें सृष्टींत महत्व**—पाण्याची अनुद्भूत उष्णता मोठी आहे, ह्मणून त्यापासून सृष्टिक्रमांत मोठीं महत्वाचीं कार्यें होतात.

प्रत्येक पौंड पाण्याचें ०° श. उष्णमान झाल्यावर त्याचें बर्फ होण्यास त्यांतून ८०

अंश उष्णता जावी लागते. यामुळें थंड देशांतील नद्या व सरोवरें फार सावकाश थिजतात. एकाद्या सरोवराच्या सर्व पृष्ठभागाचें उष्णमान जरी ०° श. पर्यंत उतरलें तरी त्याचें बर्फ होण्यास प्रत्येक पौंडांतून ८०° श. उष्णता बाहेर गेली पाहिजे, म्हणून ज्या खोलींचें पाणी थिजतें, ती खोली फार थोडी असते. परंतु जर पाण्याची अनुद्भूत उष्णता थोडी असती, तर फार खोलपर्यंत पाणी थिजत गेलें असतें.

तसेंच जेव्हां वितळण्याची क्रिया चालते तेव्हां ०° श. उष्णमानाचें प्रत्येक पौंड बर्फ वितळून त्याचें ०° श. उष्णमानाचें पाणी होण्यास त्यास ८० अंश उष्णता मिळावी लागेल. पाण्याची अनुद्भूत उष्णता फार थोडी असती तर बर्फ जलद वितळण्यानें मोठे भयंकर व प्रलयकारक पूर आले असते. अतिशय हीम (स्नो) पडल्यावर तें वितळूं लागलें म्हणजे जो प्रळय होतो, त्याहून हा प्रळय जबर झाला असता.

११८. **घनीभवनाचे वेळीं आकारमानांत फेरफार**—द्रवरूपांतून घनरूपांत पदार्थ जात असतां त्याच्या आकारमानांत नेहमीं फेरफार होतो. कित्येक पदार्थ—उदाहरणार्थ पाणी—द्रवरूपांतून घनरूपांत जातांना प्रसरण पावतात, आणि मेणासारखे कित्येक पदार्थ याच्या उलट आकुंचन पावतात.

पाण्याचें बर्फ होतांना कसा फेरफार होतो, तें पाहूं. ०° श. उष्णमानाचें ४० घनइंच पाणी असलें, आणि थिजून त्याचें ०° श. उष्णमानाचें बर्फ झालें, तर त्याचें आकारमान ४३ घनइंच होतें. म्हणजे पाणी आपल्या आकाराच्या $\frac{१}{१२}$ प्रसरण पावतें.

म्हणून पाण्यानें भरलेल्या भांड्यांतील पाणी थिजलें म्हणजे मात्र भांडीं फुटतात. हें फुटणें वरवर पाहणारास तें बर्फ पुनः वितळलें म्हणजे मात्र कळतें. म्हणून थंड देशांत हीम वितळूं लागतें तेव्हां पाण्याचे नळ फुटतात. असें म्हणतात तें बरोबर नाहीं.

क्विबेक येथें मेजर वुइलयम्स यानें जे प्रयोग केले, ते फार प्रसिद्ध आहेत. १२ इंच व्यासाचे लोखंडी तोफेचे पोकळ गोळे पाण्यानें भरून त्यांच्या तोंडावर घट्ट लाकडी गुड्या मारिल्या, आणि घराबाहेर त्यांस अति नीच उष्णमान देण्याकरितां शीतताजनक मिश्रणांत ठेविलें. कित्येक गोळ्यांच्या गुड्या जोरानें बाहेर उडाल्या. त्या मागून बर्फाच्या नळकांड्या बाहेर आल्या. दुसऱ्या कित्येक गोळ्यांत त्यांच्या बाजू चिरल्या, व त्या चिरींतून बर्फ बाहेर आलें.

प्रयोग १.—पाण्यावर बर्फ तरतें यावरून पाण्याचें बर्फ होतांना पाणी प्रसरण पावतें, हें स्पष्ट दिसतें. प्रापणप्रवाहाविषयीं सांगतांना जो याचा मागें विचार केला त्यावरून हें स्पष्ट होतें.

प्रयोग २.—ओतींव लोखंडाच्या गच्च स्क्रू बसणाऱ्या छोट्या नळ्या आयत्या याच प्रयोगाकरितां विकत मिळतात; तसली नळी घेऊन पाण्यानें भरली, आणि तोंडाचा स्क्रू गच्च बसवून तिला बर्फ आणि मीठ यांच्या मिश्रणांत टाकिलें, तर कांहीं वेळानें पाण्याचें बर्फ झाल्यामुळें दाबानें नळी फुटेल.

११९. **मेणाचें उदाहरण**—कित्येक द्रव घन झाल्यावर कमी जागा व्यापितात. ज्या पोटच्या मेणाच्या मेणबत्त्या करितात, त्याचें वर्तन असें घडतें. हें पुढील रीतीनें दाखवितां येतें.

प्रयोग—एक कांचेचें पंचपात्र घेऊन तें $\frac{3}{4}$ पाण्यानें भरावें. आणि त्यावर कांहीं वितळलेलें मेण ओतावें. मेण थिजेल आणि त्याची वडी पंचपात्रापेक्षां कमी व्यासाची बनेल. कारण तिला पंचपात्रांतून सहज बाहेर काढितां येईल. जेव्हां प्रथम वितळलेलें मेण पंचपात्रांत ओतिलें तेव्हां खचित तें या बाजूपासून त्या बाजूपर्यंत पसरलें होतें. परंतु आतां त्याची वडी पंचपात्रांतून वर सहज निघते. यावरून घनीभवनाचे वेळीं तें आकुंचन पावलें यांत शंका नाहीं.

१२०. घनीभवनाचें किंवा थिजण्याचें उष्णमान—"पाण्याचा थिजण्याचा बिंदु किंवा थिजण्याचें उष्णमान" असें आपण म्हणतों. याचा गर्भितार्थ असा समजतों कीं, हें उष्णमान नियमित असतें. तथापि कलम ११६ यांत सांगितलें कीं, थोडें जपलें म्हणजे ०°श. पेक्षां कमी उष्णमानावर पाण्यास न थिजूं देतां नेतां येतें. परंतु ज्या उष्णमानावर बर्फ वितळतें तें उष्णमान किंवा जेव्हां बर्फाच्या सन्निध पाणी असतें, तेव्हां ज्या उष्णमानावर पाणी थिजतें तें उष्णमान नियमित असतें. म्हणून 'बर्फाचा वितळण्याचा बिंदु' किंवा 'बर्फसन्निध असलेल्या पाण्याचा थिजण्याचा बिंदु' असें म्हणणें अधिक बरोबर होईल.

कोणताही द्रव घनीभवनाच्या उष्णमानावर असतां त्यांत त्याचा घनतुकडा असला तर त्यानें तो द्रव थिजतो; आणि अशा वेळीं घनीभवनाचें उष्णमान नियमित व ठाम असतें.

तसाच प्रकार पाण्यांत घन पदार्थ विद्रुत करून केलेल्या द्रवांचा होतो. सोडिअम सल्फेटाचा द्रव मागें एका प्रयोगांत घेतला तेव्हां एका विवक्षित उष्णमानावर स्फटिकीभवन सुरू झालें असें घडलें नाहीं. परंतु त्या द्रवांत सोडिअम सल्फेटाचा एखादा खडा असला तर त्याचें स्फटिकीभवन सुरू होतें.

१२१. बर्फाच्या वितळण्याच्या उष्णमानावर किंवा पाण्याच्या थिजण्याच्या उष्णमानावर दाबाचा परिणाम.—आपणास असें माहीत आहे कीं, पाण्यास थिजवावयाचें असलें म्हणजे त्याचें उष्णमान आपणास कमी करावें लागतें. तसेंच असेंही आपणास माहीत आहे कीं, पाण्याचें बर्फ झाल्यावर त्याचें आकारमान वाढतें; म्हणून स्वाभाविकच आपणास असें अनुमान करितां येतें कीं, पाणी शीत झाल्यावर त्याचें आकारमान वाढण्यास जर आपण प्रतिबंध करूं, किंवा पाण्याचें बर्फ होण्यास कांहीं अडथळा करूं, तर जेव्हां आकारमान वाढण्यास प्रतिबंध नसतो, तेव्हांपेक्षां पाण्याचें बर्फ करण्यास त्याचें उष्णमान जास्तकमी करावें लागेल.

आतां शीत केलेल्या पाण्यावर पुष्कळ दाब घालून त्याचें आकारमान वाढण्यास जर आपण प्रतिबंध करूं, तर वर जें सांगितलें त्यावरून असें अनुमान निघतें कीं, दाब वाढविल्यानें पाण्याचें थिजण्याचें उष्णमान ०° श. पेक्षां कमी होईल.

प्रोफेसर जेम्स टॉमसन यानें असें दाखविलें आहे कीं, असें घडलें नाहीं तर कर्तृत्वशक्तीच्या नित्यत्वाचें तत्त्व खरें होणार नाहीं. परंतु हा विचार येथें करण्यास फार गहन आहे.

जर आपल्या जवळ कांहीं आयतें बर्फ असेल, आणि त्यावर जर जास्त दाब घातला, तर त्याचें आकारमान कमी होईल. बर्फाचें पाणी झाल्यानें आकारमान कमी होतें. म्हणून जर दाब बराच असला, आणि ०° श. उष्णमानाहून फार कमी उष्णमानावर बर्फ नसलें, तर बर्फ केवळ दाबानें वितळेल; म्हणजे दाब वाढविल्यानें बर्फाचें वितळण्याचें उष्णमान कमी होईल.

१२२. हें सिद्ध करण्याकरितां प्रयोग—मोसन यानें पुढील रीतीनें या गोष्टीची सत्यता दाखविली आहे. A B हें एक फार बळकट असें पोलादी भांडें आहे. याचा पोकळ भाग नळीच्या आकाराचा असून त्यांत बरोबर बसणाऱ्या P Q R या मोठ्या मळसूत्रानें तो बंद केलेला आहे. स्क्रू काढून पोकळींत पाणी भरावें, आणि C हा तांब्याच्या पत्र्याचा तुकडा त्यांत टाकावा. नंतर स्क्रू फिरवून पाण्याच्या पृष्ठभागापर्यंत त्यास न्यावें, आणि नंतर सर्व भांडें—१५° श. या नीच उष्णमानावर आणावें. येणेंकरून पाणी थिजतें; व ही गोष्ट भांडें उलटें करून व स्क्रू काढून दाखवितां येते. कारण तांब्याच्या पत्र्याचा तुकडा बर्फाच्या नळकंड्याच्या दुसऱ्या शेवटावरच असतो. परंतु आतां जर स्क्रू फिरवून बर्फावर खूप दाब घातला, (हवेच्या हजारपट सुद्धां यानें दाब घालतां येतो) तर बर्फ वितळेल. ही गोष्टही भांडें उलटें करून व स्क्रू काढून दाखवितां येते. कारण या वेळीं C तांब्याचा तुकडा R स्क्रूवर असतो.

Mousson's Apparatus.

आकृति ६५ वी.

टीप—स्क्रू काढिला म्हणजे पाण्याचें पुनः बर्फ होतें. सर्व यंत्राचें उष्णमान सुमारें —१०° श. किंवा त्या सुमारानें असलें तर मात्र स्क्रू काढतांच पाण्याचें पुनः बर्फ होतें. म्हणून बर्फ खरोखर वितळलें होतें, हें दाखविण्यासाठीं या तांब्याच्या तुकड्याची जरूरी लागते.

१२३. दाबानें बर्फाचें पाणी झालें तर त्याचें उष्णमान ०°श. पेक्षां कमी असतें—द्रवीकरणांत उष्णता अदृश्य होते, असा जो नियम पूर्वीं सांगितला, त्यास वरच्या प्रयोगानें बाध येत नाहीं. उदाहरणार्थ ०°श. उष्णमानाचें बर्फ दाबानें वितळलें तर कांहीं उष्णता अदृश्य होते, आणि म्हणून जें पाणी बनतें, त्याचें उष्णमान ०°श. हून कमी असतें. यास्तव दाब काढतांच हें पाणी पुनः थिजण्याच्या स्थितींत असतें. परंतु वास्तविक अशी गोष्ट फक्त अंशतः घडते. कारण प्रत्यक्ष प्रयोगांत ज्या यंत्रांत प्रयोग केला असेल, त्याच्या द्रव्यापासून व दुसऱ्या पदार्थांपासून वहनानें कांहीं उष्णता पाण्यानें शोषण केलेली असते.

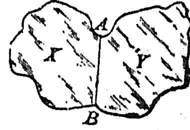
१२४. रेगेलेशन किंवा बर्फाचे तुकडे चिकटणें—बर्फाचे दोन तुकडे एकमेकांवर दाबिले, किंवा त्यांस एकमेकांजवळ नुसते धरिलें तरी त्यांच्या पृष्ठभागावरील पाणी थिजून ते एकमेकांस चिकटतात. या चमत्कारिक कृतीस रेगेलेशन असें म्हणतात. प्रथमतः याचीं कांहीं उदाहरणें देऊन नंतर याचीं कारणें सांगूं.

प्रयोग (१)—एका सांच्यांत बर्फाचे तुकडे घालून त्यावर हवा तितका दाब घातला, तर त्या सर्वांचा मिळून सांच्याच्या आकाराचा एकच गोळा होतो.

प्रयोग (२)—थंड पाण्यावर किंवा गरम पाण्यावर बर्फाचे तुकडे तरंगत असले आणि त्यांचा एकमेकांस स्पर्श झाला, ह्मणजे ते परस्परांस चिकटतात. म्हणून एका तुकड्यास धरून त्याच्यामागून पाण्याच्या पृष्ठभागावर दुसऱ्या तुकड्यास ओढतां येतें.

वरील गोष्ट घडण्याचीं दोन कारणें असावीं असें दिसतें.

(१) बर्फाच्या तुकड्याचा अंतरभाग बहुतकरून ०°श. पेक्षां कमी उष्णमानाचा असावा. ह्मणून बर्फाचे २ तुकडे एकमेकांस लावून ठेविले, तर आकृतींतील A पासून B पर्यंत त्यांचे जे पृष्ठभाग परस्पर सन्निध आहेत, त्यांवर बाहेरील हवेचें उष्णताजनक कार्य होत नाहीं. (आ. ६६ पहा) X व Y या तुकड्यांचे अंतरभाग ०°श. पेक्षां कमी उष्णमानाचे असल्यामुळें ते वहनानें पृष्ठभागांतील उष्णता नेतील. येणेंकरून A B भागाचें लौकरच ०°श हून कमी उष्णमान होईल. म्हणून पृष्ठभागीं जें पातळ पाण्याचें कवच असेल, तें थिजेल, आणि ज्या ठिकाणीं बर्फाचे तुकडे फार सन्निध आहेत, ते यामुळें एकमेकांस चिकटतील.



आकृति ६६ वी.

जरी बर्फाचें उष्णमान ०°श वरच असलें, किंवा त्याहून किंचित् कमी असलें, तरी शिशाचे २ साफ पृष्ठभाग चिकटतात, त्याप्रमाणें बर्फाचे २ गुळगुळीत पृष्ठभागही बहुधा चिकटतील.

(२) मागील दोन कलमांत जीं तत्त्वें सांगितलीं, त्यांवर अवलंबून असणारें कारण वरील गोष्टीस जास्त कारणीभूत असावें, असा अधिक संभव दिसतो.

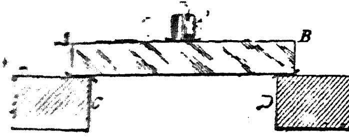
जेव्हां एक बर्फाचा तुकडा दुसऱ्यावर आपण दाबितों, तेव्हां जें भाग परस्परांस लागलेले असतात, त्या ठिकाणीं दाब वाढल्यामुळें बर्फ वितळतें. येणेंकरून जें पाणी होतें, तें पृष्ठभागीं ज्या लहानसहान खळग्या असतात, त्यांत भरतें, आणि बर्फाच्या दोन तुकड्यांमधील अवकाशांतही भरतें. परंतु हें पाणी दाबानें बर्फ वितळून झालेलें असल्यामुळें मागील कलमांत सांगितल्याप्रमाणें त्याचें उष्णमान ०°श हून कमी असेल. म्हणून एकमेकांस लागलेल्या बिंदूपासून जेव्हां तें वाहून जातें, तेव्हां तेथच्या दाबापासून मुक्त होतें. म्हणून तें पुनः थिजतें; आणि याप्रमाणें बर्फाच्या दोन्ही तुकड्यांस तें घनबर्फ एकत्र चिकटवितें.

[या विषयाचें विशेष तपशीलवार वर्णन व त्यासंबंधीं प्रयोग यांविषयीं ज्यांस माहिती करून घेणें असेल त्यांनीं टिंडालचें 'उष्णता हा एक गतीचा प्रकार आहे,' या नांवाचें पुस्तक वाचावें.]

१२५. बर्फाचा बाह्यात्कारी लबलबीतपणा— वरील गोष्टीशिवाय बर्फाविषयीं दुसऱ्या कांहीं गोष्टी अनुभवास येतात. त्यांवरून प्रथमतः असें अनुमान करण्यांत आलें होतें कीं, जरी दिसण्यांत बर्फ घन आणि ठिसूळ असें दिसतें, तथापि तें वास्त-

विक रबरबीन द्रवाच्या स्वरूपाचें आहे, कारण त्यास वाकवून हवा तो आकार देतां येतो, आणि बराच वेळ मिळाला म्हणजे त्याचा प्रवाहही वाहतो. प्रथमतः ज्या गोष्टी पाहण्यांत येतात, त्यांचें वर्णन करूं. आणि नंतर कलम १२३।२४ यांत जीं तत्त्वें सांगितलीं, त्या तत्त्वांवरून यांचीं कारणें स्पष्ट सांगतां येतात, हें दाखवूं.

प्रयोग (१). A B ही एक बर्फाची कांब घेऊन, C आणि D या दोन लांकडी तुकड्यांवर फ्लानेलचे अवाहक तुकडे ठेवून त्यांवर ती कांब ठेवावी. A B कांबीच्या मध्य भागावर एक फ्लानेलचा तुकडा ठेवून त्यावर P हें वजन ठेवावें. कांब न मोडतां जितकें वजन ती सहन करूं शकेल तेवढेंच वजन ठेवावें. कांहीं तास गेल्यावर असें दिसून येईल कीं, कांब कांहींशी वांकली आहे. (आकृति ६७ पहा.)

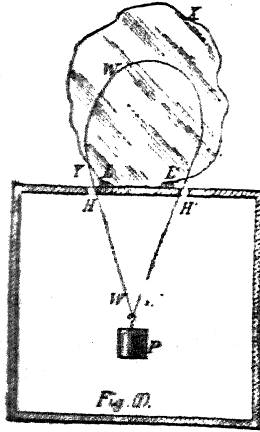


आकृति ६७.

टीप— खालील दुसऱ्या प्रयोगाप्रमाणें हा प्रयोग दाखविणें सोपें नाहीं.

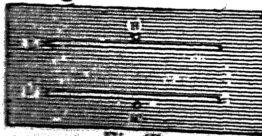
प्रयोग (२). एक चौकोनी लांकडी बैठक बाजूकडून कशी दिसते ती आकृतींत दाखविली आहे. या बैठकीवर L L या दोन जै वर एक बर्फाचा तुकडा अंतराळीं ठेविलेला आहे. W W W ही तार आरंभीं बर्फाच्या तुकड्यावरून आणून तिला खालीं P वजन टांगिलेलें आहे. बैठकीस HH हीं दोन भोकें पाडून त्यांतून तार खालीं आणिली आहे, व वजन टांगिलें आहे. आ.६८(ब)मध्यें बैठकीचा माथा दर्शविला आहे.

प्रथमतः तार बर्फाच्या तुकड्यावर होती; परंतु सुमारें अर्ध्यातासानें आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें ती खालीं उतरते. आणि उतरल्या ठिकाणीं चीर बर्फानें मागून भरून येते.



आकृति ६८ अ.

या ठिकाणीं बाह्यात्कारी बर्फाचें दाट रबरबीन द्रवाप्रमाणें वर्तन घडलें आहे. कारण तार बर्फांत शिरून फट बर्फानें भरली आहे.



आकृति ६८ ब.

स्पष्टीकरण—वास्तविक बर्फ दाट व रबरबीत द्रवच आहे कीं काय, अशी शंका येते. परंतु वास्तविक बर्फ तसें नाहीं; आणि यास एक सबळ कारण आहे. दाब न घालतां जर बर्फास ताणूं लागलों, तर रबरबीत द्रवाप्रमाणें त्याच्या वर्तनाचीं कांहीं चिन्हें दिसत नाहींत. म्हणजे त्याची ओढून तार वगैरे काढितां येत नाहीं.

वरील गोष्टीचें कारण वास्तविक कलम १२३।१२४ यांत सांगितल्या तत्त्वांवर अवलंबून आहे. जेथें बर्फ दाबलें जातें तेथें तें वितळतें. परंतु तेथून जें पाणी वाहतें, तें ०° श हून कमी उष्णमानाचें असतें. यास्तव जेव्हां तें दाबापासून मुक्त होतें तेव्हां पुनः थिजतें.

दुसऱ्या प्रयोगांत तार बर्फांत उतरल्यावर तिजवर मोकळी जागा प्रथमतः राहील. परंतु ही अरुंद अशी नियमित आकाराची फट झाली म्हणजे दाबानें जें पाणी होईल, तें केशाकर्षणानें वर चढून सर्व फट भरेल. आणि तें ०° श पेक्षां वर सांगितल्याप्रमाणें कमी उष्णमानाचें असल्यामुळें तें थिजेल.

१२६. **बर्फाच्या प्रवाहाची गति**—ज्यांस बर्फाच्या नद्या अशी संज्ञा देतां येईल, असे बर्फाचे प्रवाह हिमाच्छादित पर्वतावरून वाहतात, यांचें कारणही याच रीतीनें सांगतां येईल. दऱ्यांत बर्फ भरतें, आणि जशा दऱ्या वांकड्या तिकड्या गेल्या असतील, त्याप्रमाणें त्यांवरून खालीं उतरतें. हिमरेषेच्या वर जे पर्वताचे भाग असतात, त्यांवर हिमाचे मोठे समुदाय जमतात. यांचा कांहीं भाग पर्वताच्या नीच प्रदेशांत ढकलला जातो. आणि दाबानें, अंशतः वितळण्यानें, आणि पावसाच्या तुषारानें त्याचें घट्ट बर्फ हळू हळू होतें. एखाद्या खोल पर्वताच्या चिरींत पाहिलें असतां त्यांत जें हिम गेलेलें असतें, त्याचें घट्ट बर्फ झालेलें आहे असें दिसेल.

प्रकरण ६ यावर प्रश्न.

(१) एक पौंड पाण्याचें १°श. उष्णमान चढविण्यास जी उष्णता लागते तिला १ अंश उष्णता असें समजून खालील उदाहरणांत उष्णमान चढविण्यास किंवा उतरविण्यास किती अंश उष्णता लागेल तें काढ ?

(१) ३ पौंड पाण्याचें ०°श. पासून १६°श. पर्यंत.

(२) ४½ पौंड पाण्याचें २०°श. पासून ३५°श. पर्यंत.

(३) १० औंस पाण्याचें ९०°श. पासून ९२½°श. पर्यंत.

(४) २ पौंड ७ औंस पाण्याचें १०° श. पासून ५°श. पर्यंत.

(५) १ हंड्रेडवेट २ पौंड ३ औंस पाण्याचें २०°श. पासून २७°श. पर्यंत.

(२) बर्फाची अनुद्भूत उष्णता ८० आहे असें घेऊन खालील उदाहरणांतील पाण्यांत १ पौंड बर्फ ०°श. उष्णमानाचें घातलें असतां काय परिणाम होईल तें काढ ?

(१) ८०°श. उष्णमानाच्या १ पौंड पाण्यांत.

(२) ४०°श. उष्णमानाच्या १ पौंड पाण्यांत.

(३) १५°श. उष्णमानाच्या २ पौंड पाण्यांत.

(४) १०°श. उष्णमानाच्या ६ $\frac{१}{२}$ पौंड पाण्यांत.

प्रत्येक उदाहरणांत शेवटचें मिश्रणाचें उष्णमान काय असेल व किती बर्फ न वितळतां राहील तें सांग.

(३) कलम ११९ यांत सांगितलेल्या तत्त्वांवरून दाब वाढविला किंवा कमी केला तर मेणाच्या वितळण्याच्या उष्णमानावर काय परिणाम होईल तें सांग.

(४) निर्वातस्थळीं बर्फ ठेविल्यास त्याच्या वितळण्याच्या उष्णमानावर काय परिणाम घडेल तें सांग.

(५) आणि मेणाच्या वितळण्याच्या उष्णमानावर काय परिणाम होईल तेंही सांग.

प्रकरण ७.

वाष्पीभवन आणि वाफेचा जोर.

१२७. **बाष्पभवन या शब्दाचा अर्थ**—पाणी किंवा मद्यार्क असलेलें भांडें हवेंत उघडें ठेविलें तर त्यांतील द्रव कमी होतो. कारण कांहीं द्रव हळूहळू आणि नकळत वाफेच्या रूपानें निघून जातो.

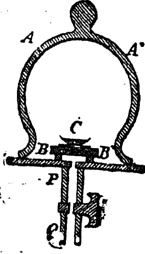
या व असल्या दुसऱ्या सर्व उदाहरणांत जेथें द्रव शांतपणानें वायुरूपांत जातो, तेव्हां त्या कृतीस **बाष्पभवन** हें नांव देतात. द्रवांत वाफेचे बुडबुडे उत्पन्न होऊन सर्व द्रव चलन पावतो, आणि या रीतीनें वाफेच्या स्थितींत जें द्रवाचें रूपांतर जोरानें होतें, त्यास **कढणें** असें ह्मणतात. या दुसऱ्या तऱ्हेच्या रूपांतराचा पुढील प्रकरणांत विचार केला जाईल.

१२८. **बाष्पभवनानें उत्पन्न होणारी थंडी**—बाष्पभवनानें थंडी उत्पन्न होते, ही सर्व प्रसिद्ध गोष्ट आहे. शरीराच्या कोणत्याही भागावरील पाणी किंवा दुसरा द्रव वाळत असला, ह्मणजे ते भाग थंड होतात; सच्छिद्र भांड्यांत पाणी किंवा दारू यांस थंड करितात; हीं यांचीं साधारण उदाहरणें होत. थोडासा विचार केला असतां आपणास असें समजेल कीं, थंडी उत्पन्न होते, ही केवळ उष्णता खर्च झाल्यामुळें होते; आणि कांहीं काम होतें, म्हणून उष्णता खर्च होते, ही ही गोष्ट फार संभवनीय दिसते. द्रवाच्या कणांस एकमेकांपासून दूर करणें हें एक अंशतः काम असतें. यास **अंतर्गत काम** असें ह्मणतात. आणि बाह्य दाबास उचलण्यामध्यें कांहीं काम होतें. द्रवापासून झालेली वाफ द्रवापेक्षां जास्त जागा व्यापिते. म्हणून हवेच्या किंवा दुसऱ्या कोणत्याही दाबाखालीं जेव्हां बाष्पभवन चालतें, तेव्हां या दाबास उचलतांना अंशतः काम होतें; यास **बाह्यकाम** म्हणतात.

प्रयोग (१)—उष्णमापकाच्या फुग्यांवर ईथर हा मद्यार्क मारून त्याचें ०°चा खालीं ही उष्णमान उतरवितां येतें. ज्या शरीराच्या भागावर शस्त्रक्रिया करावयाची असते, त्या भागावर व दांतांवर इथर मारून त्यांस शून्यवत् करितात.

(२) ओल्या व कोरड्या बोंडाच्या उष्णमापकांत (आर्द्रतामापकावरील प्र. ९ यांत कलम १८६ मध्यें याचें वर्णन दिलें आहे.) ज्या उष्णमापकाचें बोंड ओल्या कपड्यानें मढविलेलें असतें, त्याचें उष्णमान कोरड्या बोंडाच्या उष्णमापकापेक्षां कमी असतें.

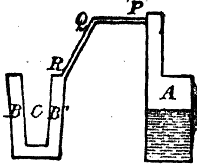
(३) सोबतच्या आकृतींत A A′ हा वाताकर्षक यंत्रावरील ग्राहक आहे, व त्यास P Q या नळीनें रिक्त करितां येतें. B B′ हा एक लांकडी तुकडा आहे. यावर टिपण्याच्या कागदाचा ओला तुकडा आहे, आणि यावर ईथरानें भरलेली घड्याळाची खोलगट C कांच आहे. (आकृति ६९पहा.) A A′ ग्राहाकांतील हवा जशी भराभर काढून घ्यावी, त्याप्रमाणें C मधील ईथर हा द्रव भराभर बाष्पभवन पावतो. याचें कारण पुढें कलम १३३ यांत सांगितलें आहे. आतां जर ग्राहकांत हवा सोडून A A′ ग्राहक जलदी काढून घेतला, तर असें दिसून येईल कीं टिपण्याच्या कागदांतील पाणी थिजून त्यास कांच चिकटली आहे.



आकृति ६९ वी.

(४) कलम १३३ यांत दिलेल्या कायाफोरसच्या प्रयोगावरून पाण्यास त्याच्या बाष्पभवनामध्यें त्यांतील उष्णतेचा उपयोग करून कसें थिजवितां येतें हें समजेल.

१२९. **केरीचें थिजविण्याचें यंत्र**—बाष्पभवनानें शीतता उत्पन्न करितां येते. पुष्कळ पाणी थिजविण्यासाठीं या तत्त्वाचा उपयोग करण्यांत आला आहे, त्याचें वर्णन आतां करूं. सोबतच्या आकृतींत केरीच्या यंत्राचे मुख्य भाग दाखविले आहेत. यंत्राचे २ भाग असतात. त्यांत A हें बळकट लोखंडाचें पात्र असून त्यांत पाणी असतें व पाण्यांत त्याच्या ६०० किंवा ७०० पट आकाराचा आमोनिया वायु विद्रुत केलेला असतो. दुसरा भाग पाण्याच्या बारडीसारखा घडीव लोखंडाचा केलेला व बळकट असतो. परंतु याच्या बाजू दुहेरी असून, त्या दोहोंमध्यें पोकळ जागा B B′ ठिकाणीं दाखविल्याप्रमाणें असते. सारांश हें एक बळकट बाजूचें बंद केलेलें असें पात्र असतें. P Q R या नळीनें हें A भांड्याशीं जोडलेलें असतें. बर्फ करण्याच्या कृतीचे दोन भाग करितां येतात. (आकृति ७० पहा.)



आकृति ७० वी.

प्रथमतः BCB′ भांडें थंड पाण्यांत ठेवून A भांडें विस्तवावर ठेवितात; येणेंकरून A भांड्यांतील पाण्यांत जो आमोनिया वायु विद्रुत झालेला असतो, तो पाणी उष्ण होतांच मोकळा होतो आणि BB′ या थंड जाग्यांत A भांड्यांतील वायूच्या दाबाच्या जोरानें सारला जातो. A भांड्यांत एक सारखा आमोनिया वायु पाण्यांतून निघत असल्यामुळें BB′ मध्यें गेलेल्या वायूवर एक सारखा अधिकाधिक दाब पडत असतो. यामुळें B B′ भांड्यांतील वायु द्रवरूपांत जातो, व तेथें द्रवरूप झालेला आमोनिया जमतो.

[हें लक्षांत आणलें पाहिजे कीं, A मधील पाण्यांतून वायूस बाहेर घालविण्याचें काम करण्यांत कांहीं उष्णता खर्च होते, व ही उष्णता B B′ भांड्यांत वायु द्रवरूप झाला म्हणजे पुनः बाहेर पडते. याच करितां B B′ भांडें थंड पाण्यांत ठेवावें लागतें.]

नंतर B B′ भांड्याच्या C भागांत जें पाणी थिजवावयाचें असेल तें पाणी घालून

भांडें ठेवावें; आणि B C B′ भांडें पाण्यांतून काढून त्यास बुरणुसासारख्या मंद-वाहक पदार्थानें लपेटावें. A भांडेंही विस्तवावरून काढून थंड पाण्याच्या भांड्यांत ठेवून त्यास शीत करावें. येणें करून त्यामध्यें असलेला वायु पाण्यांत थिजेल व दाब कमी होईल. यामुळें दाब कमी होतांच भांड्यांतील द्रवाची वाफ होऊन A भांड्यांतील पाण्यांत जाईल व तेथें शोषली जाईल. B B′ मध्यें हें जें बाष्पभवन चालतें, त्यानें तेथील पुष्कळ उष्णता खर्च होते. म्हणून C मधील पाणी थिजतें. [C मधील पाण्यांतून जी उष्णता शोषली जाते, ती A मधील पाण्यांत वायु पुनः विद्रुत झाला म्हणजे बाहेर पडते. याकरितां A भांडें आतां थंड पाण्यांत ठेवावें लागतें.]

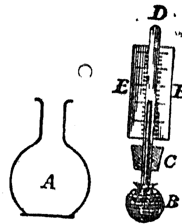
१३०. **शीघ्रबाष्पभवनास लागणाऱ्या गोष्टी**—कोणत्या स्थितींत बाष्पभवन जास्त किंवा कमी त्वरेनें चालतें, याचा आतां विचार करूं.

१३१. **उच्च उष्णमान** असतें, तेव्हां नीच उष्णमान असल्यापेक्षां जास्त जलदीनें बाष्पभवन चालतें, हें आपण हमेष पाहतों. विस्तवाजवळ कपडे धरून जेव्हां आपण वाळवितों, तेव्हां याच तत्त्वाचा उपयोग करितों.

१३२. **ज्या हवेंत किंवा जाग्यांत बाष्पभवन चाललें आहे, त्याची परिप्लुतता**—हें आपणास माहीत आहे कीं, हवा पूर्वींच जर पाण्याच्या वाफेनें परिप्लुत असली, तर ओला कपडा तिजमध्यें लवकर वाळत नाहीं; याचा साधारण अर्थ असा कीं, ज्या जाग्यांत द्रवाचें बाष्पभवन होत आहे, त्या जाग्यांत त्याच द्रवाची वाफ ज्या मानानें जास्त किंवा कमी असेल, त्या मानानें जास्त सावकाश, किंवा जास्त जलद त्या द्रवाचें बाष्पभवन चालेल. याच्या स्पष्टीकरणार्थ दोन प्रयोग करूं.

प्रयोग १—ओल्या व कोरड्या बोंडाचें उष्णमापक एका उथळ बशींत ठेवून बशींत कांहीं पाणी ओतावें; आणि ती बशी कांचेच्या हांडीनें झांकावी. याप्रमाणें कांहीं वेळ ठेविल्या नंतर जर पाहिलें तर दोन्ही उष्णमापकें सारख्याच उष्णमानावर आहेत असें दिसून येईल. यावरून असें सिद्ध होतें कीं, ओल्या बोंडावरील कपड्यांतील द्रवाचें बाष्पभवन चाललें नव्हतें. कारण कांचेच्या हांडींतील अवकाश पाण्याच्या वाफेनें परिप्लुत झाला होता.

प्रयोग २—C या बुचांत बसविलेलें B D हें उष्णमापक आहे. C बूच A या फ्लास्काच्या तोंडांत बरोबर बसतें. उष्णमापकाचें B बोंड मलमलीच्या कपड्यानें मढविलेलें आहे, व उष्णमापकाच्या नळीस E E′ ही मानपट्टी जोडलेली आहे (आ. ७१.) उष्णमापकाच्या बोंडावर जर ईथर हा मद्यार्क ओतिला तर बाष्पभवन सुरू होतें, आणि उष्णमान जलद उतरतें. परंतु जर A फ्लास्कांत कांहीं ईथर ओतून उष्णमापक जलद त्यांत बसविलें, तर लवकरच बाष्पभवन बंद होतें आणि उष्णमापक मूळच्या म्हणजे हवेच्या उष्णमानावर चढतें. कारण फ्लास्कांतील जागा ईथरच्या वाफेनें परिप्लुत होते, म्हणून



आकृति ७१ वी.

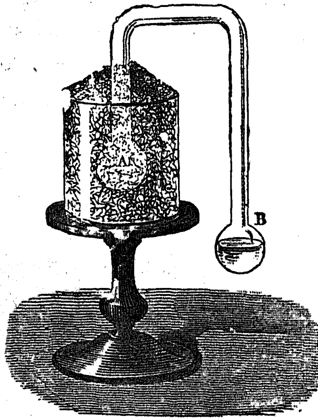
जास्त बाष्पभवन चालत नाहीं. परंतु फ्लास्कांतून उष्णमापक बाहेर काढून बाहेरच्या हवेंत उघडें ठेविलें म्हणजे पुनः बाष्पभवन सुरू होऊन उष्णमान उतरतें.

१२३. **द्रवाच्या पृष्ठभागावरील दाब.**—द्रवाच्या पृष्ठभागावर ज्या मानानें दाब असेल त्या मानानें बाष्पभवनाच्या त्वरेंत फेर पडतो. परंतु ही गोष्ट तितकी उघड रीतीनें नजरेस येत नाहीं. द्रवाच्या पृष्ठभागावर हवेचा दाब नेहमीं असतो. हा दाब जर अंशतः कमी केला तर स्वाभाविकच बाष्पभवन जास्त जलदी चालेल. दाब जर वाढविला तर कमी जलदी चालेल.

प्रयोग १—योग्य अशा आकाराचा ग्राहक घेऊन वाताकर्षक यंत्राच्या ग्राहकाखालीं पाण्यास त्याच्या बाष्पभवनानें थिजवितां येईल. ग्राहकांत सल्फ्युरिक आसिडाचा बराच मोठा पृष्ठभाग बाष्पभवनानें उत्पन्न झालेली पाण्याची वाफ शोषण करण्यास असणें जरूर आहे.

[हा प्रयोग सहजीं साधत नाहीं. आणि कधीं कधीं फारवेळपर्यंत वाताकर्षक यंत्र चालू ठेवावें लागतें.]

प्रयोग २—क्रायाफोरस—आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें वांकड्या नळीनें दोन फुगे जोडून हें यंत्र केलेलें आहे. या यंत्रांत दोहों फुग्यांपैकीं एक फुगा अर्धा भरण्यापुरतें पाणी असतें.



आकृति ७२ वी.

हें यंत्र बंद करण्यापूर्वीं पाणी कढवून यंत्रांतील सर्व हवा पाण्याच्या वाफेनें बाहेर घालविलेली असते.

म्हणून हल्लीं यंत्रांत पाणी व पाण्याची वाफ यांशिवाय दुसरें कांहीं नसतें. याच करितां एका फुग्यांतून दुसऱ्या फुग्यांत पाणी पडूं लागतें, तेव्हां धातूचा तुकडा पडावा त्याप्रमाणें 'कट' असा ध्वनि ऐकूं येतो. कारण त्यांत पाण्यास प्रतिबंध करण्यास व पाणी हळूहळू पडूं देण्यास हवेची गिरदी नसते. पुष्कळ वेळपर्यंत हें यंत्र खोलींत ठेविलें म्हणजे त्याच्या अंतर्भागीं जास्त बाष्पभवन चालत नाहीं. कारण त्याचा अंतर्भाग वाफेनें परिप्लुत झालेला असतो.

परंतु आतां सर्व पाणी B फुग्यामध्यें नेऊन A फुग्याच्या सभोंवार बर्फ आणि मीठ यांचें शीततजनक मिश्रण ठेवावें; म्हणजे A मधील पाण्याची वाफ सभोंवतालच्या शीततेनें थिजेल, आणि यामुळें सर्व नळींतील दाब कमी होईल, व B फुग्यांतील पाण्यावर दाब कमी झाल्यामुळें त्याचें बाष्पभवन सुरू होईल. B मधील पाणी त्याच्या बाष्पभवनापासून उत्पन्न झालेल्या थंडीनें थिजेपर्यंत ही क्रिया चालेल. (आ० ७२ पहा.)

प्रस्तुत ज्या गोष्टीचा आपण विचार करीत आहों ती गोष्ट या यंत्रानें चांगली स्पष्ट होते, आणि तसेंच बाष्पभवनानें थंडी उत्पन्न होते, हेंही स्पष्ट समजतें.

येथें हेंही लक्षांत ठेविलें पाहिजे कीं, B मधील पाण्यांतून त्याच्या बाष्पभवनानें जी उष्णता अदृश्य होते, ती सर्व उष्णता A मध्यें वाफ एकसारखी थिजत असल्यानें पुनः दृश्य होते.

वाफेचा जोर.

१३४. **परम दाढर्याचा जोर.**—बाष्पभवनांत जी वाफ होते, तिचा आतां विचार करूं. निर्वातस्थळीं जी वाफ होते, तिजविषयीं विचार करणें सर्वांत सोपें असल्यामुळें तीच प्रथमतः घेऊं.

सोबतच्या आकृतींत A हें एक बळकट लोखंडाचें भांडें आहे. त्याच्या बाजूस G M N ही एक वांकडी नळी बसविलेली आहे. या नळीचा M N हा भाग ३० इंचांहून जास्त उंचीचा आहे. या नळीचें खालचें तोंड पाऱ्याच्या पेल्यांत बुडालेलें आहे. भांड्याच्या माथ्यावर उघड झांप करण्याच्या दोन कळ्या बसविलेली E F ही नळी आहे.

आ. ७३ वा.

प्रथमतः असें समजूं कीं, A भांडें, निर्वात केलेलें आहे. आणि S S कळ्या बंद आहेत. तेव्हां नळींत पारा पेल्यांतील L L′ या पृष्ठ-भागावर सुमारें ३० इंच लंबोत्तर उंचीवर H पर्यंत असेल. कारण या ठिकाणीं एक साधें भारमापक यंत्रच आहे. मात्र नळीच्या माथ्यावर मोठ्या अवकाशाची रिक्त जागा आहे.

आतां S S′ या कळ्यांच्या योगानें हवा आंत न सोडतां कोणताही द्रव थेंब थेंब भांड्यांत घेतां येईल. कारण F ठिकाणीं द्रव ओतून अगदीं खालची S कळी बंद ठेवावी आणि वरची S′ कळी उघडावी. नंतर ती बंद करून खालची उघडावी याप्रमाणें क्रमाक्रमानें उघडझांप करून भांड्यांत थोडथोडा द्रव घेतां येईल.

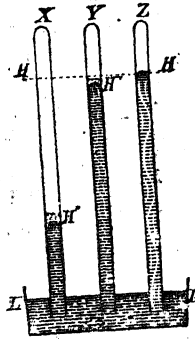
असें समजूं कीं, एक थेंब भांड्यांत पडला आहे. त्याची तात्काळ वाफ होईल, व या वाफेचा कांहीं दाब सर्वत्र पडेल. म्हणून नळींतील पाऱ्याच्या माथ्यावर तो पडेल. हा दाब जर एक इंच पाऱ्याच्या दाबाएवढा (किंवा दर चौरस इंचावर ½ पौंड) असला तर नळींतील पारा १ इंच उतरेल. याप्रमाणें थेंब थेंब द्रव भांड्यांत घेत जाऊं; आणि दर-वेळीं वाफेचा दाब किती आहे, हें जितके इंच नळींत पारा उतरेल, त्याजवरून मापूं.

परंतु कांहीं वेळानें आपणास असें दिसून येईल कीं, A भांड्यांत कांहीं नियमित परिमाणाचा द्रव घातल्यावर बाष्पभवन बंद होतें, आणि दाब वाढत नाहीं, आणि पाराही तरत नाहीं असें होतें. अशा वेळीं पारा जर H′ या उंचीवर असेल, तर ज्या H H′ उंचींतून पारा उतरला आहे, ती उंची प्रस्तुतच्या स्थितींत वाफेपासून जो अतिशय मोठा दाब उत्पन्न होतो, त्यास दर्शवील. यास **महत्तम जोर,** किंवा **परम दाढ्यांचा जोर** असें म्हणतात. आपल्या असें नजरेस येईल कीं, हा जोर दोन गोष्टीं-वर मात्र अवलंबून असतो. (१) द्रवाचा धर्म आणि (२) उष्णमान; म्हणजे **वाफेचा महत्तम जोर, द्रवाचा धर्म आणि उष्णमान यांवर मात्र अवलंबून असतो आणि**

द्रवाच्या परिमाणावर अवलंबून असत नाहीं. मात्र या ठिकाणीं अवकाश परिप्लुत करण्यापुरता द्रव आहे, असें गृहीत घेतलेलें आहे.

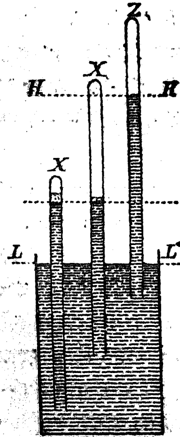
१३५. **भारमापकांच्या नळ्यांचा प्रयोग**—वर सांगितलेलें यंत्र फार बिकट आहे. नुसती भारमापकाची नळी घेऊन हा प्रयोग करणें हें सोपें आहे. नळींतील पाऱ्यामधून नळीच्या माथ्या जवळील रिक्तस्थळीं द्रवास सहज वर घालवितां येतें. कारण पाऱ्याहून तो हलका असल्यामुळें पाऱ्यांतून सहजीं वर चढतो, आणि पाऱ्यावर तरंगत राहतो. जेव्हां पाऱ्यावर कांहीं द्रव वाफ न होतां राहतो, तेव्हां जितके इंच पारा खालीं उतरला असेल, त्या इंचांनीं महत्तम दाब मापितां येतो.

प्रयोग—X Y Z हीं तीन भारमापक यंत्रें आहेत. यांतील पाऱ्यावर आतां निर्वात जागा आहे. X नळींत थोडें ईथर वर सारूं. त्याची तात्काळ वाफ होईल. पाऱ्यावर वाफ न होतां ईथर राहीपर्यंत आणखीं पाऱ्यांतून वर सारावें. Y नळींत तसाच आल्कोहोल सारावा. द्रव वर सारतांना जी थोडी हवा त्या बरोबर वर जाते, त्यामुळें किंचित् फेरफार होतो. तेवढा वजा केला असतां आपणास असें आढळेल कीं, नळींतील रिक्त जाग्यास वाफेनें परिप्लुत करण्याजोगा द्रव पाऱ्यावर गेला, म्हणजे पारा उतरण्याचें बंद होतें. आणखीं आपणास असें दिसून येईल कीं, द्रवाच्या धर्मावर महत्तम दाब अवलंबून असतो; कारण ईथर घातलेल्या नळींत जितका पारा उतरला तितका आल्कोहोल घातलेल्या नळींत उतरला नाहीं. आणि हातानें किंवा दिव्यानें नळीस उष्ण करून हा दाब उष्णमानावर ही अवलंबून असतो, असें ही आपणास दाखवितां येईल.



आकृति ७४ वी.

१३६. **पाऱ्याचा खोलगट पेला घेऊन प्रयोग**—ज्यांत नळीस खालीं सारतां येईल, अशा पाऱ्यानें भरलेल्या खोल पेल्यांत भारमापकाची एक नळी न्यावी. उदाहरणार्थ जींत ईथर घातलें आहे, ती नळी नेऊं. नळी पाऱ्यांत सारली, किंवा वर काढिली तरी नळीच्या माथ्याशीं जों पर्यंत कांहीं पोकळ जागा आहे, तों पर्यंत पेल्यांतील पाऱ्याच्या पृष्ठभागावर नळींतील पाऱ्याची लंबोत्तर उंची सर्वदा सारखी असेल. किंवा Z या भारमापकांतील पाऱ्याच्या पृष्ठभागाखालीं या नळींतील पाऱ्याचा माथा सारख्या अंतरावर असेल. X नळीस खोल पेल्यांत खालीं सारिल्यानें किंवा वर उचलल्यानें नळींतील परिप्लुत करण्याची जागा कमी किंवा जास्त आपण करितों, एवढाच परिणाम होतो. म्हणून खालीं सारून



आकृति ७५ वी.

कमी जागा केल्यानें कांहीं वाफ थिजून द्रव्यरूपांत येते, आणि वर काढिल्यानें कांहीं जास्त द्रवाची वाफ होते. एकंदरींत जों पर्यंत ती जागा वाफेनें परिप्लुत असते आणि उष्णमान सारखें असतें, तों पर्यंत वाफेचा महत्तम जोर सारखा राहतो.

१३७. **म्यारिअटचा सिद्धांत— वायु आणि परिप्लुतवाफ-** या ठिकाणीं म्यारिअटचा सिद्धांत लागू पडत नाहीं, हें स्पष्ट आहे. कारण अवकाश वाढविला, किंवा कमी केला तरी दाबांत अंतर पडत नाहीं.

याचें कारण उघड आहे. प्रकरण ४ यांत जेव्हां वायूचें आकारमान आपण कमी केलें, तेव्हां जे वायूचे कण पूर्वी जास्त अवकाशांत होते, त्यांसच कमी अवकाशांत दाटी करून आणिलें, म्हणून स्वाभाविक त्यांचा दाब वाढला. परंतु परिप्लुत वाफेचें आकारमान कमी केलें, तेव्हां कांहीं वाफ लागलीच द्रवरूपांत आली; व त्या द्रवानें वाफेच्या मानानें फारच थोडी जागा व्यापिली. जेव्हां परिप्लुत वाफेचें आकारमान वाढविलें तेव्हां वाढलेली जागा परिप्लुत करण्यापुरती आणखी द्रवाची वाफ झाली. कितीही जागा असली तरी ती समान दाढर्याच्या वाफेनें नेहमी भरलेली राहिली. (उष्णमान समान आहे असें कल्पिलें आहे.) ज्या वायूस म्यारिअटचा सिद्धांत लागू पडतो, तो वायु त्याचा आकार कमी केल्यानें द्रवरूपांत जाऊं शकत नाहीं. सारांश जी वाफ परिप्लुत झाली नाहीं, ती वाफ वायु आहे, अशी वायूची व्याख्या आपणास देतां येईल. आणि परिप्लुत स्थितीपासून जितकी जास्त अंतरावर वाफ असेल, तितका म्यारिअटचा सिद्धांत तिला जास्त लागू पडतो.

१३८. **डाक्टर अंड्रूज याचे प्रयोग—**साधारण स्थितींत वायुरूपांत असणाऱ्या पदार्थांस त्यांवर अतिशय दाब घालून व त्यांचें उष्णमान अतिशय कमी करून परम दाढ्यांच्या स्थितींत आणि द्रवरूपांत आणण्याकरितां अनेक प्रयोग करण्यांत आले आहेत. याविषयीं फार सूक्ष्म रीतीनें अगदीं प्रथम डाक्टर अंड्रूज यानें प्रयोग केले होते. त्यानें कार्बानिक आसिड वायूवर प्रयोग केले, व त्यांवरून खालील सिद्धांत काढिले.

(१) प्रत्येक वायूकरितां असें एक नियमित उष्णमान असतें कीं, त्यांहून जास्त उष्णमान असतां त्या वायूस स्पष्ट द्रवरूप देतां येत नाहीं. कार्बानिक आसिड वायूच्या संबंधानें हें उष्णमान ३१° श. होतें.

(२) या उष्णमानाहून जास्त उष्णमान असतां वायूवर दाब घालून त्याचें दाढ्यं व आकारमान द्रवरूपांतल्या दाढ्यां इतकें व आकारमानाइतकें करितां येतें. तथापि त्यास खरें द्रवरूप प्राप्त होत नाहीं.

(३) या उष्णमानाहून कमी उष्णमान झालें म्हणजे पाहिजे तितका दाब घातल्यानें व त्यामुळें त्याचें आकारमान कमी झाल्यानें त्याचें आकुंचन होऊन त्यास खरें द्रवरूप प्राप्त होऊं लागतें; आणि यानंतर १२६ कलमांत दाखविल्याप्रमाणें नळींतील ईथरची वाफ ज्याप्रमाणें द्रवरूपांत येऊं लागते, त्याप्रमाणें आणखी आकारमान कमी केल्यानें त्याचें आणखी आकुंचन होऊन जास्त दाब न वाढवितां त्यास द्रवरूप येतें.

१३९. **द्रवाचें एकसारखें वायूंत रूपांतर होणें व वायूचें द्रवांत होणें—**कांहीं फेर-

फार दृष्टीस न पडतां या रीतीनें द्रवास खरें वायुरूप आपणास देतां येतें. कार्बानिक आसिड वायु आपण घेऊं. या वायूच्या संबंधानें हें उष्णमान ३१ °श. आहे. यास आणीबाणीचें किंवा निर्वहण उष्णमान असें नांव देऊं. विवक्षित अवकाश ३१°श. हून कमी उष्णमानावर असलेल्या द्रवरूपी कार्बानिक आसिड वायूनें पूर्णपणें भरावा. नंतर त्याचें उष्णमान ३१° श. पेक्षां जास्त होई पर्यंत त्यास उष्ण करावें. या वेळीं द्रवरूपास वायुरूप प्राप्त होत नाहीं. कारण द्रवावर कांहीं अवकाश नसल्यानें द्रवाचें बाष्पभवन होत नाहीं. परंतु आतां ३१°श. हून जास्त उष्णमानावर त्यास खरें द्रवरूप असत नाहीं; आणि त्यास जर प्रसरण पावूं दिलें तर मध्यंतरीं दुसरी अवस्था प्राप्त न होतां एकदम त्यास वायुरूप प्राप्त होईल.

१४०. **कायमचे वायु**—अगदीं अलीकडे पिक्टेट आणि क्यालेटेट या उभयतांनीं भिन्न भिन्न रीतींनीं आक्सिजन, हैड्रोजन, आणि नैत्रोजन यांस सुद्धां द्रवरूपांत आणिलें आहे.

हवेच्या दाबाच्या ५०० पासून ३२० पट दाब घालून आणि सुमारें–१४०°श. या नीच उष्णमानावर आणून पिक्टेट यानें आक्सिजन वायूस द्रवरूपांत आणिलें; क्यालेटेट याच्या कित्येक प्रयोगांत केवळ शून्य उष्णमानाच्या जवळ जवळ उष्णमान उतरलें होतें.

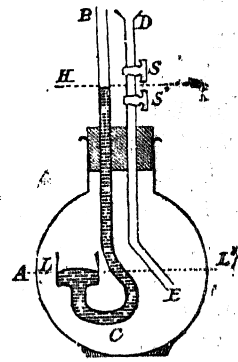
१४१. **घनरूपी कार्बानिक आसिड**—द्रवरूपी कार्बानिक आसिड ज्या भांड्यांत आहे, त्या भांड्यास जर एक लहानसें छिद्र पाडिलें, तर त्यांतून खूब जोरानें वायु बाहेर पडतो; आणि द्रवरूपी वायूच्या त्वरित बाष्पभवनानें इतकी शीतता उत्पन्न होते कीं, त्यापैकीं कांहीं द्रवरूपी कार्बानिक आसिड थिजतें; आणि तो थिजलला पदार्थ हिमासारखा दिसतो, व तशा रूपांत त्यास गोळा करितां येतें. जर हें कार्बानिक आसिडाचें हिम ईथर या मद्यार्कांत मिसळलें, तर तें अत्यंत शक्तिमान असें शीतताजनक मिश्रण होतें. द्रवरूपी कार्बानिक आसिडावरील दाब वाताकर्षक यंत्राच्या सहाय्यानें त्वरित कमी केला तर त्याचें उष्णमान–११०°श. पर्यंत किंवा त्याहूनही कमी सुद्धां उतरतें.

१४२. **भिन्नभिन्न उष्णमानावर असलेल्या दोन परस्पर जोडलेल्या पात्रांतील परम दाढ्यांचा जोर**—आपणास असें समजलें आहे कीं, प्रत्येक जातीच्या द्रवास प्रत्येक उष्णमाना करितां नियमित असा परमदाढ्यांचा जोर असतो. एकाच पात्राचे निरनिराळे भाग निरनिराळ्या उष्णमानांवर असतात, तेव्हां कशी स्थिति असते, याचा विचार करूं. क्रायाफोरस घेऊन त्याचाच विचार केला म्हणजे काय स्थिति होईल, हें सहज आपल्या लक्षांत येईल. (क्र० १३३ पहा.) असें समजूं कीं, B फुग्याचें उष्णमान $उ_1$ आहे, आणि या उष्णमानावर त्यांतील वायूचा परमदाढ्यांचा जोर $द_1$ आहे. आणि A फुग्याचें उष्णमान $उ_2$ आहे, व तें $उ_1$ पेक्षां कमी आहे आणि या उष्णमानावरील परमदाढ्यांचा जोर $द_2$ आहे. A फुग्यांत $द_2$ पेक्षां जास्त जोर होऊं शकणार नाहीं. परंतु $द_1$ हा जोर $द_2$ पेक्षां मोठा आहे, आणि जर $द_1$ हा जोर B भागांत असेल, तर सर्व भागीं तितका असला पाहिजे. म्हणून A फुग्यांत एकसारखें घनीभवन चालेल; आणि हें घनीभवन $द_2$

पेक्षां जों पर्यंत जास्त जोर यंत्रांत असेल, तों पर्यंत चाललें पाहिजे. परंतु या योगानें दाब सर्वत्र कमी होतो, आणि ह्मणून B मध्येंही कमी होईल. यास्तव B मध्यें बाष्पभवन चालू राहतें, आणि जोंपर्यंत तेथचें $उ_१$ उष्णमान $उ_२$ उष्णमानापेक्षां जास्त असतें; आणि म्हणूनच $द_१$ हा जोर $द_२$ पेक्षां जास्त असतो, तोंपर्यंत हें बाष्पभवन चाललें पाहिजे. जेव्हां B मधून बाष्पभवनानें आणि A मध्यें घनीभवनानें सर्व द्रव A फुग्यांत जमेल तेव्हां मात्र हा विनिमय समाप्त होईल, किंवा थांबेल; आणि नंतर A भागाच्या $उ_२$ उष्णमानावरील $द_२$ हा दाब सर्वत्र होईल. म्हणून "भिन्न भिन्न उष्णमानांवर असणाऱ्या परस्पर जोडलेल्या दोन भांड्यांमधील वाफेचा अखेरचा जोर त्यांतील नीच उष्णमानाच्या परमशक्तीच्या जोराबरोबर असतो. मात्र यांत नेहमीं सर्वत्र अवकाश परिप्लुत करण्याजोगा द्रव असला पाहिजे."

१४२. **हवेंतील महत्तम जोर**—जो अवकाश आरंभीं रिक्त नसून हवेनें किंवा दुसऱ्या कोणत्या तरी वायूनें भरला आहे, त्यांतील कोणत्याही द्रवाच्या वाफेचा महत्तम जोर कसा असतो, याचा आतां आपण विचार करूं. किंवा तो अवकाश दुसऱ्या कोणत्या तरी वाफेनें परिप्लुत असला तरीही त्यांतील द्रवाच्या वाफेचा महत्तम जोर काय असतो तें पाहूं. याविषयीं असें दिसून आलें आहे कीं, **कोणत्याही द्रवाच्या वाफेचा महत्तम जोर रिक्त जाग्यांत असतो, तितकाच हवा असलेल्या अवकाशांतही असतो; आणि रिक्त अवकाश परिप्लुत करण्यास जेवढ्या वजनाचा द्रव लागतो, तेवढ्याच वजनाचा द्रव हवेनें भरलेल्या अवकाशासही परिप्लुत करण्यास लागतो.** या दोहों मध्यें मोठा व स्पष्ट भेद इतकाच असतो कीं, हवा असलेल्या अवकाशांत बाष्पभवन फार सावकाश चालतें. (विवक्षित अवकाशांत जो वायु पूर्वीं असतो, त्या वायूची नवीन होणाऱ्या वाफेशीं रसायनप्रीति नसते, तेव्हां मात्र वरील सिद्धांत खरा असतो, हें लक्षांत ठेविलें पाहिजे).

प्रयोग—बाजूच्या आकृतींत दाखविलेल्या यंत्रानें वरील सिद्धांताचा खरेपणा चांगला दाखवितां येतो. (आ. ७६ पहा.) A हा एक कांचेचा चंबू आहे, व त्याच्या तोंडावर रबराचें बूच गच्च बसविलेलें आहे. या बुचास दोन भोंकें पाडून त्यांत B C L आणि D E या दोन नळ्या बसविलेल्या आहेत. B C नळीचें खालचें तोंड वांकवून आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें पसरडें केलेलें आहे, व तींत पारा भरलेला आहे. दुसऱ्या नळीच्या माथ्यावर गळती असून त्या नळीस उघड झांप करण्याचीं दोन S S′ मळसूत्रें आहेत. प्रयोगास आरंभ करण्यापूर्वीं दोन्ही मळसूत्रें उघडीं ठेवावीं आतां D E नळींतून वातावरणाचा दाब चंबूंत पडत आहे, यामुळें व B नळींतील पाऱ्यावर हवेचा दाब आहे, म्हणून B C नळीच्या वांकविलेल्या दोन्ही



आकृति ७६ वी.

भागांत पारा सारख्या उंचीवर राहतो. आतां दोहीं मळसूत्रांपैकीं खालचें S′ मळसूत्र बंद करावें, आणि गळतींत थोडा द्रव (उदाहरणार्थ ईथर) ओतावा; नंतर वरचें मळसूत्र S बंद करून S′ उघडावें. येणेंकरून हवा आंत न जाऊं देतां चंबूंत याप्रमाणें द्रव आपणास घालितां येतो. या द्रवाची हळू हळू वाफ होऊन तिचा जो दाब पाऱ्यावर उत्पन्न होतो, त्यानें वांकड्या नळीच्या लांब भागांत पारा चढतो, त्यावरून तो दाब दिसतो. चंबूंत जास्त द्रवाचें बाष्पभवन होण्याचें बंद झालें म्हणजे जो त्या द्रवाच्या वाफेचा जोर असतो तो, म्हणजे हवेमधील त्या उष्णमानावरील त्या द्रवाच्या वाफेचा महत्तम जोर, नळीच्या दोहीं भागांतील पारदस्तंभाच्या उंचीमधील जें अखेरचें H L अंतर त्यानें मापितां येतो.

भारमापकाच्या नळ्यांत रिक्त स्थळीं जो महत्तम जोर मागें काढिला, तितकाच या प्रयोगांतही असतो.

टीप—या प्रयोगांत थोडी चूक होण्याची एक जागा आहे. नळीच्या लांब भागांत पारा चढला म्हणजे A च्या अंतर्भागीं अवकाश जास्त वाढतो. म्हणून या जास्त अवकाशांतील हवेचा दाब बरोबर मूळच्या इतका पडत नाहीं.

१८४. **वाफांचीं मिश्रणें**—ज्या अवकाशांत हवा आहे, त्या अवकाशांत द्रवाची वाफ होते, आणि त्या वाफेचा महत्तम जोर अखेरीस रिक्त जाग्यांतील वाफेच्या जोराइतका होतो, असें वरील कलमावरून आपणास समजलें. याचाच विस्तार करून आपणास खालीं लिहिलेला सिद्धांत देतां येईल. "जर एकाद्या भांड्यांत दोन किंवा अधिक द्रवांचें मिश्रण घातलें, तर तें भांडें रिक्त असतां जेवढ्या वजनाच्या प्रत्येक द्रवाचें बाष्पभवन होईल, आणि जेवढा त्याचा महत्तम दाब पडेल तेवढ्याच वजनाच्या प्रत्येक द्रवाचें बाष्पभवन होऊन तेवढाच दाब पडेल; आणि म्हणून रिक्त स्थळीं निरनिराळ्या द्रवांच्या वाफांचे जे महत्तम दाब असतील त्यांच्या बेरजेबरोबर एकंदर महत्तम दाब होईल."

द्रव आणि त्यांच्या वाफा यांमध्यें परस्पर रसायनप्रीति असूं नये, व त्यांचें फक्त यांत्रिक मिश्रण मात्र व्हावें. ही गोष्ट वरील सिद्धांताच्या खरेपणास अवश्य आहे.

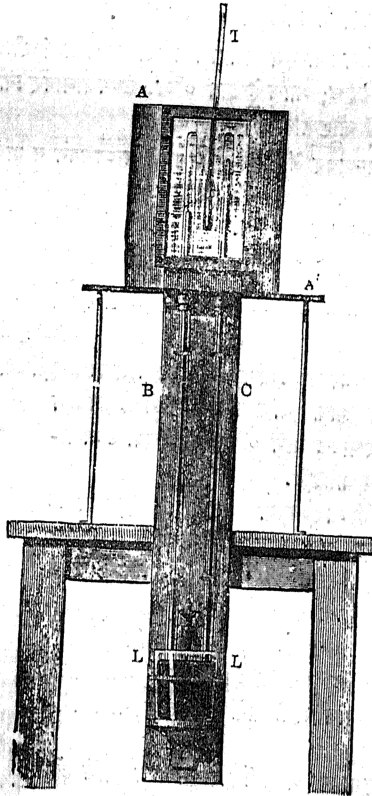
१८५. **निरनिराळ्या उष्णमानांवरील पाण्याच्या वाफेचे महत्तम दाब**—भिन्न भिन्न उष्णमानांवरील वाफांचे महत्तम दाब बरोबर कसे मापावे, याचा आतां आपण विचार करूं; आणि पाण्याची वाफ फार महत्वाची असल्यामुळें तिचें उदाहरण घेऊं.

रेग्नाल्ट यानें याविषयीं प्रयोग करितांना ०°श आणि ५०°श यांमधील उष्णमानांवरील महत्तमजोर एका रीतीनें काढिले; आणि ०°श खालच्या उष्णमानांवरील महत्तम दाब किंचित् भिन्न पण बहुतेक पहिल्यासारख्याच अशा दुसऱ्या रीतीनें काढिले. आणि ५०°श वरच्या उष्णमानांवरील महत्तम दाब याहून अगदीं भिन्न अशा तिसऱ्या रीतीनें काढिले.

१८६. **०°श आणि ५०°श यांमधील उष्णमानांवरील महत्तम दाब**—डाल्टन यानें पूर्वीं शोधून काढिलेल्या यंत्रांतच कांहीं सुधारणा करून त्या यंत्रानें रेग्नाल्ट यानें

या उष्णमानांवरील महत्तम दाब काढिले. या यंत्राचे मुख्य भाग खालील आकृतींत दाखविले आहेत. (आ० ७७ पहा).

A A′ ही एक धातूच्या पत्र्याची पेटी आहे. तिच्या बुडांतून B आणि C या दोन भारमापकांच्या नळ्यांचीं शेवटें पेटींत आलेलीं आहेत. पेटीच्या वरच्या पृष्ठभागांत T हें उष्णमापक बसविलेलें आहे.



आकृति ७७ वी.

A A′ या पेटींत बर्फ किंवा पाणी भरतां येतें; आणि पेटीखालीं दिवा ठेवून पाण्यास हव्यात्या उष्णमानावर आणितां येतें. पाण्याचें उष्णमान T या उष्णमापकानें समजतें.

भारमापकांपैकीं एकांत पाऱ्यावरील पोकळी रिक्त ठेवावी, आणि दुसऱ्याच्या पाऱ्यावरील पोकळींत, कढवून त्यांतील हवा घालविलेलें असें थोडें पाणी वर सारावें. असें केल्या बरोबर या भारमापकांतील पारा दुसऱ्यांतील पाऱ्याहून खालीं उतरतो.

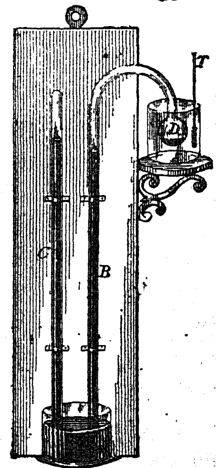
असें समजा कीं, ०°श उष्णमानावर इ इंच पारा उतरला, तर या उष्णमानावरील पाण्याच्या वाफेचा दाब इ इंच पाऱ्याच्या दाबा इतका असला पाहिजे. परंतु इ इंच पाऱ्याचा दाब त्याच्या दाढ्यांवर ह्मणजे त्याच्या उष्णमानावर अवलंबून असतो. ह्मणून पाऱ्याच्या प्रसरणगुणकाच्या सहाय्यानें ०°श. उष्णमानावर इ इंच उंची किती असेल, हें गणित करून आपणास काढिलें पाहिजे; व ही उंची ०°श उष्णमानावरील पाण्याच्या वाफेचा महत्तम दाब आहे, असें लिहून ठेविलें पाहिजे.

याप्रमाणें अनेक प्रयोग करून निरनिराळ्या उष्णमानांवरील महत्तम दाबाचें कोष्टक तयार कारितां येईल; आणि हे दाब ०°श. उष्णमानावर किती इंच पाऱ्याच्या दाबांबरोबर असतात हें कोष्टकांत दाखवितां येईल.

टीप—नळींतील पाऱ्यावर जें कांहीं थोडें पाणी बाष्पभवन न पावतां राहील, त्याच्या वजनामुळें जो दाब पाऱ्यावर पडेल, तोही वाफेपासून उत्पन्न झालेला दाब मापितांना हिशेबांत घेतला पाहिजे. जर पाऱ्यावर P उंचीचें पाणी असलें, (आ० ७८ पहा) तर त्याचा पाऱ्यावर दाब $\frac{P}{१३\cdot६}$ इंच पाऱ्याइतका बहुतेक असेल. या दाबानेंही पारा खालीं उतरेल ह्मणून इ इंचांतून $\frac{P}{१३\cdot६}$ इंच आपणास वजा केले पाहिजेत.

आकृती ७८ वी.

१४७. ०°श खालच्या उष्णमानांवरील महत्तम दाब-पूर्वीच्या यंत्रांत थोडा फेरफार करून गेलूझाक यानें ज्या रीतीनें हे प्रयोग केले, त्याच रीतीनें रेग्नाल्ट यानें ०°श. खालच्या उष्णमानांवरील महत्तम दाब काढिले.



आकृति ७९ वी.

पूर्वीप्रमाणेंच C हें भारमापक असतें; परंतु ज्या B भारमापकानें महत्तम दाब काढावयाचे आहेत, त्याच्या नळीचा बंद भाग वांकवून आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें त्याच्या शेवटीं D हा फुगा केलेला असतो. (आ. ७९ पहा).

या D फुग्यांत पाणी असतें. D फुगा आणि B भारमापकांतील पाऱ्यावरील सर्व जागा यांतील हवा कशी काढितात, व D फुग्यांत पाणी कसें घालितात, याचें वर्णन येथें करीत नाहीं.

आतां दोन्ही भारमापकें आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें हवेच्या उष्णमानावर आहेत. परंतु D फुगा शीतनाजनक मिश्रणांत बुडविलेला आहे, (हें मिश्रण क्याल्सिअम क्लोराईड आणि हिम यांचें करावें; कारण तें द्रवरूपी असतें; ह्मणून त्यास सहज ढवळून त्याचें उष्णमान सारखें ठेवितां येतें.) व त्याचें उष्णमान T या उष्णमापकानें समजतें. क. १४२ यांत ज्या तत्वांचें विवरण केलें, त्यांवरून B नळींतल्या पाऱ्यावरील एकंदर अवकाशांतील वाफेचा महत्तम दाब अखेरीस या नळीचा अत्यंत थंड जो D भाग त्याच्या उष्णमानावरील महत्तम

दाबाबरोबर असेल. हा अखेरचा दाब उत्पन्न झाला, (आणि हा दाब फार लवकर उत्पन्न होतो.) ह्मणजे मागील कलमांत सांगितल्याप्रमाणें तो मापावा.

५०°श. वरील महत्तम दाब. ५०°श. वरच्या उष्णमानांवरील महत्तम दाब काढण्याचे रेग्नाल्टचे प्रयोग कढण्याच्या नियमांवर अवलंबून आहेत. ह्मणून पुढील प्रकरणांत ते नियम सांगितल्यावर त्यांचें वर्णन करूं. (कलम १७३ पहा.)

१४८. **पाण्याच्या वाफेच्या महत्तम दाबांचें कोष्टक.**—ड्यामिन याच्या पुस्तकांतून निरनिराळ्या उष्णमानांवर पाण्याच्या वाफेचीं महत्तमदाढर्यें किंवा दाब काय असतात, यांचें पुढील कोष्टक घेतलेलें आहे. यांत पाऱ्याच्या इंचांच्या जागीं सहस्रांश मात्रा दिलेल्या आहेत. ७६० सह्स. मा. ३० इंचा जवळ जवळ असतात, हें लक्षांत ठेवावें.

शतभाग उष्णमान.	सहस्रांश-मात्रा दाब.	शतभाग उष्णमान.	सहस्रांश-मात्रा दाब.
—३०°	·३८६	११०°	१०७५·३७०
—२०°	·९२७	१२०°	१४९१·२८०
—१०°	२·०९३	१३०°	२०३०·२८०
०°	४·६००	१४०°	२७१७·६३०
१०°	९·१६५	१५०°	३५८१·२५०
२०°	१७·३९१	१६०°	४६५१·६२०
३०°	३१·५४८	१७०°	५९६१·६६०
४०°	५४·९०६	१८०°	७५४६·३९०
५०°	९१·९८२	१९०°	९४४२·७०
६०°	१४८·७९१	२००°	११६८८·९६०
७०°	२३३·०९३	२१०°	१४३२४·८००
८०°	३५४·६४३	२२०°	१७३९०·३५०
९०°	५२५·४५०	२३०°	२०९२६·४०
१००°	७६०·०००		

उष्णमानापेक्षां महत्तम दाढर्य किंवा दाब जास्त वाढतो, हें लक्षांत ठेविलें पाहिजे. हें वक्ररेषेनें दाखविल्यास जास्त उपयोग होईल. परस्पर काटकोन करणाऱ्या रेषांशीं वक्र रेषेच्या प्रत्येक बिंदूपासून काढलेल्या समांतर रेषा उष्णमान व दाब दाखविण्यास घ्याव्या.

१४९. **वाफांचीं दाढर्यें.**—विवक्षित आकारमानाच्या वाफेचें वजन आणि तिचा दाब काढण्याची आपणास कधीं कधीं गरज लागते; आणि हें काढण्यास आपणास आकारमानाप्रमाणें तिचें दाढर्यही समजणें अवश्य असतें. कारणः—

वजन=आकारमान × दाढर्य.

आपणास मागें असें समजलें आहे कीं, सर्व वायूंचा प्रसरणगुणक एकच असतो. ह्मणजे ते सारख्याच प्रमाणानें प्रसरण पावतात.

प्रस्तुतच्या विवेचनाकरितां खालीं लिहिलेले सिद्धांत खरे आहेत, असें आपण गृहीत घेऊं.

(१) सर्व वायु आणि परिप्लुत अवस्थेस पोंचली नाहीं अशी कोणतीही वाफ यांचा प्रसरणगुणक एकच असतो.

(२) सर्व वायु आणि परिप्लुत अवस्थेस पोंचली नाहीं अशी कोणतीही वाफ यांस म्यारिअटचा सिद्धांत लागू असतो.

या दोन गृहीत सिद्धांतांचा कसा उपयोग होतो, हें आतां दाखवूं. एवढें येथें सांगणें अवश्य आहे कीं, हे सिद्धांत सूक्ष्मरीत्या खरे नाहींत. परंतु साधारण गोष्टींत ते खरे आहेत, असें मानल्यास चालतें, व त्यांचा फार उपयोग होतो.

१५०. **हवेच्या संबंधानें वायु व वाफा यांचीं दाढ्यें.**—असें समजूं कीं, ०°श. उष्णमानाच्या आणि नियमित अशा दाबाच्या हवेच्या संबधानें सर्व वायु व वाफा यांचीं दाढ्यें काढून आपण एक कोष्टक तयार केलें आहे.

जेव्हां उष्णमान मात्र बदलतें आणि दाब बदलत नाहीं, तेव्हां (१) या सिद्धांताप्रमाणें ज्या मानानें हवा प्रसरण पावून तिचें दाढ्य कमी होईल, त्याच मानानें दुसऱ्या वाफा किंवा वायु प्रसरण पावतील; ह्मणून वायु किंवा वाफ यांचें सर्व उष्णमानावर हवेच्या संबंधानें दाढ्य समान राहील. मागील कलमांतील (१) या गृहीत सिद्धांतावरून हें अनुमान साक्षात् निघतें.

हवेचा दाब बदलला, व त्याचप्रमाणें वायु किंवा वाफ यावरीलही दाब बदलला, आणि उष्णमान बदललें नाहीं, तर (२) या सिद्धांताप्रमाणें दोहोंचें दाढ्य सारख्याच प्रमाणानें बदलेल. ह्मणून कोणताही दाब असतां वायु किंवा वाफ यांचें हवेच्या संबंधानें दाढ्यें सारखेंच राहील. मागील कलमांतील (२) या गृहीत सिद्धांतावरून हें अनुमान साक्षात् निघतें.

या दोहों अनुमानांचें एकीकरण केलें असतां असा सिद्धांत निघतो. **उष्णमान व दाब कसेही बदलले तरी ०°श. उष्णमानाच्या व नियमित दाबाच्या हवेच्या संबंधानें सर्व वायु व वाफा यांचीं दाढ्यें समान असतात.**

टीप—येथें असें गृहीत घेतलें आहे कीं, ज्या हवेशीं तुलना केली आहे ती हवा आणि वायु किंवा वाफ समान उष्णमानावर आणि समान दाबा खालीं आहेत; आणि असें ही गृहीत घेतलें आहे कीं, त्या उष्णमानावर वाफेचें जें महत्तम दाढ्य असेल त्याहून दाब जास्त नाहीं. कारण असें समजलें नाहीं तर वाफेस म्यारिअटचा सिद्धांत लागू पडणार नाहीं.

१५१. **एक लीटर हवेचें वजन.**—प्रत्यक्ष प्रयोगानें असें काढिलें आहे कीं, ०°श. उष्णमान आणि ७६० स श मा. दाब असतां एक लीटर हवेचें वजन १.२९३ ग्राम असतें. तर दाढ्य केवळ उष्णमानाच्या व्युत्क्रम प्रमाणानें, आणि दाबाच्या सम प्रमाणानें बदलतें, हें लक्षांत ठेविलें असतां कोणताही व सहस्रांश मात्रा दाब, आणि कोणतेंही उ° श. उष्णमान असतां कोणत्याही आकारमानाच्या—उदाहरणार्थ आ लीटर—हवेचें वजन काढितां येईल. हें वजन काढण्यास व दाब उ° श उष्णमान ही बदलून

७६० स. श. मा. दाब, आणि ०°श. उष्णमान झाल्यास आं लीटर हवेचें आकारमान काय होईल, हें काढिलें पाहिजे.

कलम १०२ प्रमाणें, $\frac{द आ}{क} = \frac{दं आं}{कं}$

यांत द=द., आ=आ., क=२७३+उ. } दं=७६०, कं=२७३

या किंमती वरील सारणींत लिहून—

$$\frac{द आ}{२७३+उ} = \frac{७६० \times आं}{२७३},$$

$$\therefore आं = \frac{द \times आ \times २७३}{(२७३+उ)७६०}.$$

असल्या एक लीटर हवेचें वजन १.२९३ ग्राम आहे, असें समजलें आहे. ह्मणून वरील आं लीटरांस या संख्येनें गुणिलें असतां विवक्षित वजन मिळेल. ह्मणून—

$$व = \frac{१.२९३ \times द \times आ \times २७३}{(२७३+उ)७६०.} \text{ ग्राम.}$$

१५२. **एक लीटर आकारमानाच्या कोणत्याही वाफेचें वजन.**—असें समजू कीं, हवेच्या संबंधानें कोणत्याही विवक्षित वाफेचें दाढर्य काढिलें आहे. १५० व्या कलमांत जें वर लिहिलें आहे, त्यावरून असें आपणास माहीत आहे कीं, दाब व उष्णमान हीं दोन्ही बदललीं तरी हें दाढर्य बदलत नाहीं. ह्मणून द दाब आणि उ° श. उष्णमान असतां जर आ लीटर हवेचें वजन व असलें, तर या स्थितींतील आ लीटर वाफेचें वं वजन आपणास काढितां येईल. कारण— वं=ढ×व.

येथें ढ अक्षर दाढर्य दर्शविण्यास घेतलें आहे.

$$\therefore वं = \frac{ढ \times १.२९३ \times आ \times द \times २७३}{(२७३+उ)७६०} \text{ ग्राम.}$$

उदाहरणें—आपण पाण्याच्या वाफेचें उदाहरण घेऊं. प्रयोगावरून असें काढण्यांत आलें आहे कीं, हवेच्या संबंधानें पाण्याच्या वाफेचें दाढर्य ·६२२ आहे. म्हणजे कोणताही दाब व उष्णमान असतां पाण्याची वाफ त्याच दाबाच्या व त्याच उष्णमानाच्या हवेच्या ·६२२ पट जड असते.

(१) १०°श. उष्णमानावर पाण्याच्या वाफेनें परिप्लुत झालेल्या ३.५ लीटर हवेंत जी पाण्याची वाफ असते, तिचें वजन काढ.

जर इतका अवकाश अगदीं निर्वात असता, तर त्या अवकाशांतील वाफेचें जितकें वजन भरलें असतें, तितकेंच वजन तो अवकाश हवेनें भरला असला तरी भरतें. (क० १४२ पहा) आतां १४८ वे कलमांतील कोष्टकावरून १०° श. उष्णमानावर

परिप्लुत असलेल्या पाण्याच्या वाफेचें महत्तम दाढर्च ९·१६५ सश. मा. असतें. म्हणून

द = ९·१६५ स श मा.

आ = ३·५ लिटर

२७३ + उ = २७३ + १० = २८३° क

या किंमती वरील सारणींत लिहून—

$$वं = \frac{·६२२ \times १·२९३ \times ३·५ \times ९.१६५ \times २७३}{७६० \times २८३.}$$

हें सोडविल्यानें ग्राममध्यें वजन निघेल.

(२) ६$\frac{३}{४}$ लीटर अवकाशांत असलेल्या पाण्याच्या वाफेचा दाब १०० सश. मा. आहे, व उष्णमान ६०°श आहे. तर त्या वाफेचें वजन काय?

टीप—कोष्टकांत पाहिलें असतां असें आपणास दिसून येईल कीं, हा अवकाश वाफेनें परिप्लुत झाला असला तर ६० °श. उष्णमानावर वाफेचा महत्तम दाब १४८.७९१ सश. मा. असतो, म्हणून या उदाहरणांतील अवकाश परिप्लुत झालेला नाहीं, हें उघड आहे. तथापि यानें आपल्या कृतींत कांहीं अंतर पडत नाहीं. कारण वाफ परिप्लुत नसली म्हणजे १४९ कलमांत दिलेले सिद्धांत तिला अधिक चांगले लागू पडतात.

आ = ६.२५.

द = १०० सश. मा.

२७३ + उ = २७३ + ६० = ३३३°क.

ढ = .६२२

$$\therefore वं = \frac{·६२२ \times १·२९३ \times ६·२५ \times १०० \times २७३}{७६० \times ३३३} \text{ ग्राम.}$$

१५२. वाफेचीं दाढर्चें काढण्याची ड्यूमास याची रीति.—वाफेच्या दाढर्चाविषयीं जास्त व पूर्ण माहिती पाहिजे असल्यास दुसऱ्या कोणत्याही मोठ्या पुस्तकांत वाचकांनीं पाहावें.

ड्यूमास याची रीति ही फार सूक्ष्म मानाची आहे. ज्या पदार्थांची वाफ होण्यास फार उंच उष्णमान लागतें, अशा पदार्थांच्या वाफेचें दाढर्च या रीतीनें काढितां येतें. पदार्थांचा धर्म आणि ज्या उष्णमानावर प्रयोग करावयाचा असेल तें उष्णमान, या दोहोंच्या मानानें पदार्थ कांचेच्या किंवा दगडीमातीच्या भांड्यांत घेतात. या भांड्याची मान ओढून अगदीं बिंदुवत् बारीक केलेली असते. भांड्यास विवक्षित उष्णमान देतात. सर्व हवा बाहेर गेली, आणि विवक्षित उष्णमान आणि विवक्षित बाह्य दाब असतां भांड्यांत पदार्थांची वाफ मात्र राहिली, म्हणजे फुकनळीच्या ज्योतींत केशाकृति नळीचें टोंक वितळवून तोंड बंद करितात. आतां विवक्षित उष्णमान व दाब असतां ज्या वजनाची वाफ भांड्यांत राहील, तितकी भांड्यांत बंद केलेली आहे. हेंच उष्णमान व दाब असतां भांड्यांत किती हवा राहील, तें माहीत असलें, आणि भांड्याचें आकारमान किती आहे, हें पूर्वी काढिलें असलें म्हणजे प्रयोगापूर्वी व प्रयोगानंतर

कोणत्याही वाफेचें दाढर्ये समान असत किंवा नाहीं याची परीक्षा निरनिराळ्या स्थितींत अनेक प्रयोग करून या रीतीनें करितां येते.

जर प्रयोगांत फार सूक्ष्म मान धारिलें, तर तेथें गृहित घेतलेले सिद्धांत अगदीं बरोबर नसतात असें कळून येतें.

वायूविषयीं गतिविशिष्ट कल्पना.

१५४. **घनरूपी, द्रवरूपी, आणि वायुरूपी पदार्थ यांची घटना**—आतां पदार्थांच्या घटनेविषयीं आणि उष्णमान, दाब आणि दुसऱ्या स्थिति यांचा या घटनेशीं संबंध कसा असतो याविषयीं थोडी माहिती करून घेणें उपयोगी होईल. ही कल्पना खरी मानण्यास कोणते आधार आहेत, याविषयीं विचार न करितां ही सर्वानुमतें ठरलेली जी कल्पना ती काय आहे, ऐवढेंच मात्र येथें सांगूं.

(१) **घन पदार्थ**—घन पदार्थांत द्रव्याचे घटक कण जरी बहुतकरून एकमेकांस साक्षात् लागून असत नाहींत, तथापि त्यांचें चलनवलन इतकें मर्यादित असतें कीं पदार्थांचा आकार जोंपर्यंत जोरानें बदलला नाहीं तोंपर्यंत ते कण एकंदरींत आपापल्या स्थानीं परस्परांपासून नियमित अंतरावर राहतात.

पदार्थांचें जें उष्णमान असेल, त्याप्रमाणें जास्त किंवा कमी जोरानें हे कण आंदोलन पावतात, आणि त्यांचें प्रसरण किंवा आकुंचन झालें ह्मणजे त्यांची परस्पर अंतरें किंचित् बदलतात.

(२) **द्रव पदार्थांत** कण एकमेकांस लागलेलेच असतात. तथापि ते परस्पर बंधनापासून इतके मुक्त असतात कीं ते एकसारखे इकडून तिकडे सरकत राहतात. जे दोन कण एका वेळीं परस्परांजवळ असतात, तेच दुसऱ्या वेळीं एकमेकांपासून दूर जाऊन मध्यें दुसरे कण येतात. घन पदार्थांप्रमाणें यांचाही प्रत्येक कण २ किंवा अधिक परमाणूंचा बनलेला असतो; आणि प्रत्येकास ही सरण्याची गति असते; आणि तो कण ज्या परमाणूंचा बनलेला असतो, त्या परमाणूंस आंदोलक गतिही असते. जसें उष्णमान वाढतें त्याप्रमाणें या दोनही गतींचा जोर वाढतो. कणांचे घटक परमाणु जास्त जोरानें आंदोलन पावतात, आणि प्रत्येक कण ह्मणजे परमाणूंचा समुदाय दुसऱ्या कणांमध्यें जास्त जोरानें सरकत राहतो.

प्रापणप्रवाह ज्याप्रमाणें दिसतो, त्याप्रमाणें ही सरकण्याची गति दिसत नाहीं. याचें कारण असें आहे कीं, एकाच दिशेनें एकाकाळीं कधींही पुष्कळ कण एकदम सरकत नाहींत. यामुळें त्यांच्या गतीनें लांकडाचा अर्धा गुंज सुद्धां कीस आपल्या बरोबर ते नेऊं शकत नाहींत. सारांश ही गति इतकी सूक्ष्म असते, कीं ती दिसण्यांत येत नाहीं.

१५५. (३) **वायु**—वायूंचा प्रकार अगदीं भिन्न असतो. वायूंचे कण एक-

खुंटली म्हणजे तो पुनः दुसऱ्या दिशेनें सरळ रेषेंतच उडतो. ही गति साधारणतः दृष्टिमर्यादेच्या अगदीं पलीकडे असते. ती गति इतकी गोंधळाची असते कीं, प्रत्येक बिंदूपासून कण सर्व दिशांनीं सारखे उडत असतात, असेंही म्हणतां येईल.

०°श उष्णमान आणि ७६० सश. मा. दाब असतां हैड्रोजन वायूच्या प्रत्येक कणाचा वेग सरासरीनें दरमिनिटास ६९ मैल असतो, आणि दोन कण एकमेकांवर आदळले म्हणजे प्रत्येक कण ·००००८ शतांश मात्र लांबीनून चलन पावतो. यावरून वायूच्या कणांच्या चलनाची बरीच स्पष्ट कल्पना होईल.

कोणत्याही वायूचा प्रत्येक कण २ किंवा अधिक परमाणूंचा बनलेला असतो, आणि या परमाणूंस आंदोलक गति असते; आणि शिवाय त्याच्या कणास वर सांगितलेली-ही गति असते. उष्णमान वाढतें त्याप्रमाणें या दोन्ही गतींचा जोर वाढतो.

१५६. **वायूंमधील दाब**—वायूंचे कण परस्पर बंधमुक्त असल्यामुळें ज्या भांड्यांत ते असतात, त्या भांड्याच्या बाजूंवर एकमेकांच्या प्रत्याघातानें त्या कणांचा दाब पडत नाहीं. उदाहरणार्थ निशाण मारण्याच्या ढालीवर जर हातानें दाबिलें तर ढाल जशी उलट हातावर दाबिते, तसा प्रकार येथें घडत नाहीं. परंतु ढालीवर गोळ्यांचा एक सारखा भडिमार केला असतां जसा तिजवर दाब पडेल त्या प्रमाणें भांड्याच्या बाजूवर कणांच्या भडिमारानें किंवा आदळण्यानें दाब पडतो.

म्यारिअटचा सिद्धांत—या कल्पनेवरून म्यारिअटच्या सिद्धांताची उपपत्ति सांगतां येते. असें समजूं कीं उष्णमान बदललें नाहीं, म्हणजे कण ज्या वेगानें चलन पावत आहेत, त्या वेगांत फेरफार झाला नाहीं. आतां जर वायूचें आकारमान कमी केलें, किंवा भांड्याचा आकार कमी केला, तर मूळच्या इतकेच कण पूर्वीच्या क्षेत्रापेक्षां कमी क्षेत्रावर पूर्वीप्रमाणेंच भडिमार करीत राहतील. यास्तव त्यांचा जास्त दाब पडेल हें उघड आहे. म्हणून उष्णमान समान असतां आकारमान कमी केल्यास दाब वाढतो, याचें कारण या कल्पनेवरून सांगतां येतें. या सिद्धांताच्या उपपत्तीविषयीं आणखी विचार येथें आम्ही करीत नाहीं.

१५७. **चार्लस याचा सिद्धांत**—दाब कायम असतां उष्णमान वाढल्यानें वायु प्रसरण पावतात, आणि आकारमान कायम असतां उष्णमान वाढल्यानें दाब वाढतो. याचेंही कारण सांगतां येतें. मात्र केवळ सिद्धांताचें स्पष्टीकरण येथें आम्ही करीत नाहीं.

कारण उष्णमान वाढलें म्हणजे कण जास्त जोरानें चलन पावतील, आणि म्हणून त्यांवर जो दाब असेल त्याहून यांचा बलवत्तर होईल व त्यामुळें आकार वाढेल. हें मात्र अनंतकाळपर्यंत चालणार नाहीं. कारण जसजसें आकारमान वाढतें, तसतसें भडिमार करण्याचें क्षेत्रही वाढतें. आणि म्हणून भडिमाराच्या वाढलेल्या जोरास यानें पंगुत्व येतें.

मध्य कण सर्व दिशांनी [illegible]
घडेल, कीं कांहीं कण द्रवापासून अजीबात वर उडतील. आणि द्रवावरील वाफेच्या कणांत मिसळून जातील. द्रवाच्या पृष्ठभागापासून वरील अवकाशांत कणाचें जें उडणें तेंच बाष्पभवन होय. त्याच प्रमाणें वरील वाफेंतील कण द्रवावर आदळतील, आणि तेथें द्रवांत मिसळले जाऊन द्रवाचा अंश बनतील. हेंच द्रवीभवन होय.

जेव्हां बाष्पभवन आणि द्रवीभवन समान असतात, तेव्हां वाफ परिप्लुत असते.

हा वेळ पर्यंत आपण असें ह्मणत गेलों कीं " आतां आणखीं द्रव बाष्पभवन पावत नाहीं " परंतु आतां आपणास असें समजतें कीं, " बाष्पभवन आणि द्रवीभवन सारख्या मानानें चालतात, " असें म्हणणें अधिक बरोबर आहे.

१५९. **फूल होणें**—कित्येक स्थितींत पदार्थ घनरूपांतून एकदम थेट वायुरूपांत जातो. या कृतीस फूल पडणें असें ह्मणतात. जर कापूर किंवा नवसागर यांस उष्ण केलें आणि त्यावर एखादा थंड पदार्थ धरिला तर घन पदार्थांतून जी वाफ जाते, ती पुनः थंड पदार्थावर घनरूपांतच जमेल. या कृतींत घन पदार्थांपासून जी वाफ जाते, ती खरी वाफ असून तिच्या अंगीं कांहीं जोर असतो. म्हणजे दाब पाडण्याचें सामर्थ्य असतें. म्हणून घन पदार्थांपासून कण वेगळे होऊन हवेंत धुरळ्याप्रमाणें तरंगतात, त्या कृतीपासून ही कृति अगदीं वेगळी असते हें लक्षांत ठेविलें पाहिजे.

नवसागर किंवा कापूर यांजवर जास्त दाब घालून व त्या दाबाखालीं उष्ण करून यांस वितळवितां येतें.

डाक्टर कार्नेली आणि दुसरे कित्येक विद्वान यांचें असें म्हणणें आहे कीं बहुतेक दाब नाहींसा करून बर्फास उष्ण केलें तर 0°श. हून बऱ्याच उच्च उष्णमानावर बर्फास न वितळूं देतां त्याचें फूल धरितां येतें. (नेचर या नांवाच्या साप्ताहिक पत्रांत 'उष्ण बर्फ' या सदरा खालीं याविषयींचे अनेक प्रयोग दिले आहेत. पुस्तक २२ पृष्ठें २६४, ३४१, ५०५ आणि पुस्तक २४ पृष्ठें ४, २८, ११३ पहा.)

प्रकरण ७ यावर प्रश्न.

(१) दोहोंकडून बंद अशी एक वांकडी नळी घेऊन, तिचें एक टोंक शीतताजनक मिश्रणांत बुडविलें, व दुसऱ्या टोंकाकडे वायु उत्पन्न केले, आणि या रीतीनें फ्याराडे यानें कित्येक वायूंस द्रवरूप दिलें. तर अशा प्रयोगांत नळीच्या कोणत्या भागीं द्रवरूप पावलेला वायू जमेल? आणि नळीच्या एका टोंकाभोंवतीं जें शीततानक मिश्रण असतें, त्या मिश्रणास या कृतींत उष्णता मिळेल कीं काय, याचें स्पष्टीकरण करा.

(२) वातकर्षक यंत्राच्या ग्राहकाखालीं सल्फ्युरिक आसिड घातलेला परळ ठेवून ग्राहकांत पाण्याचें बाष्पभवन केलें, तर पाण्याचें उष्णमान कमी होतें, व आसिडाचें वाढतें, याचें कारण काय ?

(३) जे वायु साधारण स्थितींत नित्य वायुरूपांत असतात, त्यांस द्रवरूप देण्याकरितां जे पूर्वी प्रयत्न करण्यांत आले होते, ते सफल कां झाले नाहींत ?

(४) विवक्षित द्रवाच्या वाफेस आपल्या द्रवाच्या सन्निध असतां उष्ण केलें, व आपल्या द्रवाच्या सन्निध नसतां उष्ण केलें, तर दोहों कृतींत क्रिया कशी चालेल, त्याचें नीट वर्णन कर.

(५) पृथ्वीवर उष्णमान समान ठेवण्यास पर्जन्याचा उपयोग होतो, असें सिद्ध कर.

(६) कपड्याची ओली पट्टी शरीराच्या एकाद्या भागावर बांधली असतां तिजपासून अपकार होत नाहीं, परंतु आंगावरचे कपडे भिजले असतां अपकार होतो, याचें कारण काय ?

(७) कार्बानिक आसिड वायूस द्रवरूप देण्यासाठीं ज्या यंत्राचा उपयोग करितां येईल, त्याचें चित्र काढून वर्णन कर.

(८) खालीं दिलेल्या गोष्टींवरून कार्बानिक आसिड वायूचें दाढर्य काढ.

शुष्क हवा भरलेल्या विमानाचें वजन..................	१९२ ग्राम.
हवारहित. .... ,, ,, ...	१८१ ,,
कार्बानिक आसिड वायु. ,, ,, ...	१९७.७७.

(९) एक ग्रामभार एका विवक्षित वायूचें आकारमान ४५५° श. उष्णमानावर मापिलें, तें ·४५ लिटर भरलें; एक ग्राम दुसऱ्या वायूचें ९१° श. उष्णमानावर आकारमान मापिलें, तें ·५ लिटर भरलें. तर १००° श. उष्णमानावर दोहोंचीं जीं दाढर्यें असतील, त्यांची तुलना कर.

(दोहोंवरील दाब समान आहे, असें समजावयाचें.)

(१०) कलम १४८ यांत दिलेलें कोष्टक आणि कलम १५२ यांत दिलेली सारणी या दोहोंवरून २५°श. उष्णमानावर एक घनफूट हवेस परिप्लुत करण्यास जी पाण्याची वाफ लागेल, तिचें वजन काढ. (२०° श. आणि ३०° श. या उष्णमानांवरील दाबांचें मध्यम प्रमाण २५° श. उष्णमानावरचा दाब घ्यावा.) ०° श. उष्णमान आणि ७६० सश. मा. दाब असतां एक घनफूट हवेचें वजन १·२९२ औंस असतें, आणि पाण्याच्या वाफेचें दाढर्य हवेच्या संबंधानें ·६२२ असतें.

(११) १००° श. उष्णमानावरची व ७६० सश मा. दाबाची पाण्याची कांहीं वाफ पाण्यापासून वेगळी काढून तिला १२१° श. उष्णमानापर्यंत उष्ण केलें, परंतु तिचा आकार कायम ठेविला, तर त्या उष्णमानावर तिचा दाब काय असेल ?

(१२) १००° श. उष्णमानावर एक घनफूट वाफेचें वजन काय असेल, तें काढ.

(१३) ७५० सश. मा. दाब आणि २५° श उष्णमान असतां पाण्याच्या वाफेनें परिप्लुत झालेल्या १००० घनफूट हवेचें वजन काढ. (१० व्या उदाहरणांतील व्यक्त प्रमाणें घे.)

प्रकरण ८.

कढणें.

१६०. **कढण्याची क्रिया**—जेव्हां एखादा द्रवरूपी पदार्थ, उदाहरणार्थ पाणी, भांड्यांत घालून हवेंत उघडा ठेविला तर त्याच्या पृष्ठभागापासून बाष्पभवन चालतें. द्रवाच्या कांहीं भागाचें वाफेंत रूपांतर होऊन ती वाफ हवेंत मिसळते; आणि जर ती हवा कलम ९८ यांत सांगितल्याप्रमाणें कोंडलेली असली तर तिचा दाब वाढतो. कारण हवेच्या दाबांत वाफेच्या दाबाची भर पडते. परंतु साधारण उष्णमानावर पाण्याच्या वाफेचा जोर फार कमी असतो. ह्मणून तिच्यानें हवेचा दाब सहन करून वायुरूपांत राहववणार नाहीं. हवेच्या दाबानें असली वाफ चेंपली जाऊन तिचें पुनः पाणी बनेल.

पाण्यास उष्ण केलें म्हणजे कांहीं वेळानें पाण्याच्या पृष्ठभागावर वाफेचा ढग दृष्टीस पडतो. याचें कारण असें आहे कीं, पाण्याच्या पृष्ठभागावरची हवा उष्ण होते, व ती वाफेनें भगदीं भरून जाते, किंवा परिप्लुत होते. असली वाफमिश्रित हवा वर गेली म्हणजे ती तेथच्या थंड हवेंत मिसळते. याप्रमाणें शीत झाली म्हणजे तिजमध्यें पूर्वी इतकी पाण्याची वाफ राहूं शकत नाहीं. म्हणून कांहीं वाफ थिजते; आणि आपणास ढगाच्या रूपानें दिसते. नंतर पाण्याच्या तळापासून लहान लहान बुडबुडे वर निघतांना दृष्टीस पडतात. जी हवा पाण्यांत विद्रुत झालेली होती, त्या हवेचे हे बुडबुडे मुख्यत्वें असतात. विद्रुत असलेली हवा उष्णतेनें प्रसरण पावून वेगळी होते व बाहेर पडते.

कांहीं वेळानें मोठ मोठे बुडबुडे वर येऊं लागतात, आणि पृष्ठभागाजवळ जसे येतात, तसे फुटून अदृश्य होतात.

हे बुडबुडे पाण्याच्या वाफेचे असतात. पाण्याच्या तळाशीं आतां इतकें उष्णमान वाढलेलें असतें कीं, पाण्याच्या वाफेचे बुडबुडे त्यांवरील दाबास न जुमानितां तेथें राहूं शकतात. परंतु हे बुडबुडे जसे वर चढतात, तसे ते कमी उष्णमानाच्या पाण्यांत येतात. म्हणून शीत होऊन त्यांचा जोर कमी होतो; आणि बाहेरील दाबानें ते पुनः चुरडून जातात. परंतु यानंतर लवकरच दुसरे बुडबुडे चुरडून न जातां पृष्ठभागाशीं येऊन पोंचतात, आणि तेथें फुटतात. असें होऊं लागलें ह्मणजे सर्व पाणी सळसळूं लागतें, आणि विपुल वाफ उत्पन्न होऊं लागते. या क्रियेस **कढणें** असें म्हणतात.

१६१. **कढण्याच्या वेळचा वाफेचा जोर**—मागील प्रकरणांत वाफेच्या जोराविषयीं विचार करीत असतां आपणांस असें समजलें आहे कीं, जर अवकाश वाफेनें

परिप्लुत होण्या जोगा द्रव सान्निध असला तर उष्णमान, आणि द्रवाचा धर्म यांवर वाफेचा जोर अवलंबून असतो. ह्मणजे प्रत्येक द्रव्याच्या वाफेचा परमावधीचा जोर नियमित उष्णमान असतां नियमित असतो.

आतां प्रस्तुतचें उदाहरण परमावधीच्या जोराचेंच आहे. कारण या वेळीं वाफेनें परिप्लुत करण्यास जितका द्रव पाहिजे, त्याहून जास्त आहे. आणि आपण वर पाहिलें कीं, पाणी कढतें त्या वेळीं बाहेरील दाब सहन करण्याचें सामर्थ्य वाफेच्या अंगीं असतें. यास्तव आपणास पुढील अनुमान काढितां येईल—

द्रवाच्या पृष्ठभागावरील दाबा इतका वाफेच्या अंगीं जोर येण्याजोगें जेव्हां द्रवाचें उष्णमान होतें तेव्हां पाणी कढूं लागतें.

टीप—पाण्याच्या तळापाशीं द्रवाच्या पृष्ठभागापेक्षां अधिक दाब असतो. कारण पृष्ठभागावर हवेचा दाब असतो, परंतु तळावर हवेशिवाय आणखी द्रवाचाही दाब असतो. ह्मणून तळाशीं वाफेचे बुडबुडे बनून राहण्यास पृष्ठभागापेक्षां तेथें जास्त उष्णमान असावें लागतें.

१६२. नियमित दाब असतां कढण्याचें उष्णमान नियमित व कायम असतें. आम्हीं पूर्वीं असें सांगितलें आहे (आणि पुढें एका विशेष प्रसंगीं प्रयोगानें सिद्ध करून दाखविणार आहों) कीं कढण्याची क्रिया चालते तेव्हां द्रवाच्या पृष्ठभागावर जो हवेचा दाब असतो, त्याच्या इतका द्रवाच्या वाफेचा जोर असतो. जेव्हां पृष्ठभागावरील दाब नियमित असतो, (उदाहरणार्थ जेव्हां द्रव उघड्या हवेंत कढतो,) तेव्हां वाफेचा जो महत्तम जोर असतो, त्याचें नियमित उष्णमान असावें हें स्वाभाविक दिसतें.

असें खरोखरीच असतें. आपण द्रवास जशी उष्णता लावितों त्याप्रमाणें त्याचें उष्णमान वाढतें; आणि दरक्षणीं त्या वेळच्या वाफेच्या परमावधीच्या जोरास जेवढें पाहिजे तेवढेंच उष्णमान असतें. परंतु जेव्हां कढण्याची क्रिया सुरू होते, तेव्हां वाफेचा परमावधीचा जोर कायम राहतो व उष्णमानही कायम राहतें.

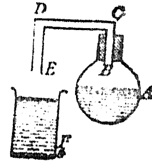
प्रयोग.—उघड्या हवेंत पाणी तापवून व त्यांत उष्णमापक धरून वरील सिद्धांताचा खरेपणा पाहावा.

१६३. प्रयोगानें सिद्ध करणें—उघड्या हवेंत कढण्याची क्रिया चालते तेव्हां हवेच्या दाबाइतकाच वाफेचा जोर असतो, हें दाखविण्यासाठीं कांहीं प्रयोग सांगूं. बाह्य दाबाचें एक विशेष उदाहरण घेऊं; उदाहरणार्थ हवेचा दाब घेऊं, आणि असें दाखवूं कीं, उघड्या हवेंत पाणी कढत असतां त्याचें उष्णमान असें असतें कीं, जेणें करून हवेच्या दाबाइतका वाफेचा जोर होतो.

जेव्हां आपण वाफेचा जोर किंवा तिचें उष्णमान असें मोघम म्हणतों, तेव्हां जो जोर व जें उष्णमान द्रवाच्या पृष्ठभागीं असतात, तीं असें आपण समजतों. कारण १६१ कलमांतल्या टिपेंत सांगितल्याप्रमाणें द्रवाच्या तळीं त्यावरील द्रवाच्या दाबामुळेंही दोन्ही जास्त असतात.

म्हणून पुढील प्रयोगांत वाफेचेंच उष्णमान घेऊं. आणि द्रवांत उष्णमापक बुडविणार नाहीं.

प्रयोग १—A हें पाणी घातलेलें फ्लास्क आहे. त्याच्या तोंडांत बूच बसविलेलें आहे; आणि त्यांत आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें काटकोनाकार वांकविलेली रुंद नळी B C D E बसविलेली आहे. (आ. ८१ पहा.) F हें गरम पाण्याचें भांडें आहे. A मधील पाणी कढवून त्यांतून वाफ निघूं लागली म्हणजे E टोंक F मधील पाण्यांत बुडवावें. नंतर सुमारें पांच सहा मिनिटांनीं A खालचा दिवा काढून घ्यावा. म्हणजे A मधील वाफेचा जोर कमी होतो. आणि F यांतील पाण्यावर जो हवेचा दाब आहे, त्या दाबानें उलटें नळींतून फ्लास्कांत पाणी ढकललें जातें, आणि A भांडें सर्व पाण्यानें भरतें.



आकृति ८१ वी.

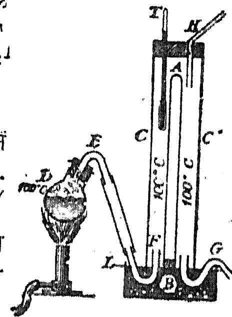
यावरून असें सिद्ध होतें कीं, जेव्हां A भांड्यांतील पाणी कढत होतें, त्या वेळीं त्याच्या वाफेनें भांड्यांतील सर्व हवेस बाहेर घालविलें. म्हणून त्या वाफेचा जोर हवेच्या दाबापेक्षां कमी नव्हता. आणि B C D E ही नळी रुंद आहे. म्हणून हवेच्या दाबाइतकाच वाफेचा जोर असावा, आणि फार जास्त नसावा.

टीप—F भांड्यांतील पाणी गरम घेतलें नाहीं तर A मधील वाफ फार जलद थिजली जाऊन भयंकर जोरानें एकदम पाणी भरतें.

प्रयोग २—A B हें एक भारमापक आहे. त्यांतील पाऱ्यावरच्या पोकळींत थोडेसें पाणी घालविलें आहे. हवेच्या उष्णमानाइतक्या उष्णमानावर पाण्याच्या वाफेचा दाब कमी असतो; म्हणून पाणी घालण्यापूर्वीं ज्या उंचीवर पारा होता, त्यापेक्षां कांहीं कमी उंचीवर आतां पारा आहे.

A B भारमापकाच्या सभोंवतीं आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें दोन्ही तोंडांनीं उघडी अशी—C C′ नळी आहे. हिचें खालचें तोंड भांड्यांतील पाऱ्यांत बुडतें आणि वरच्या तोंडास बूच बसवून त्यांत T उष्णमापक व हवा बाहेर जाण्याची H नळी अशीं बसवलेलें आहेत. (आ. ८२ पहा.)

D ह्या फ्लास्कांतील कढत्या पाण्याची वाफ E F नळीनें C C′ नळींत सोडून भारमापकास उष्ण करितां येते. थिजलेलें पाणी G नळीनें बाहेर जातें. A B नळी C C′ नळींत छिद्रें पाडलेल्या बुचांत बसविलेली आहे. हें बूच आकृतींत दाखविलें नाहीं. या बुचाच्या छिद्रांतून वाफ वर चढते.

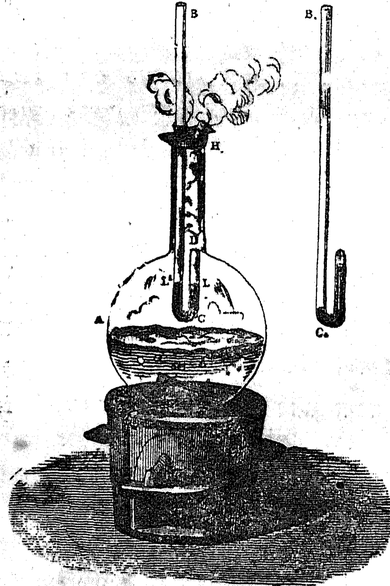


आकृति ८२ वी.

A B नळींतील पाणी जसें उष्ण होतें, तसा तिजमधील पारा खालीं उतरतो आणि अखेरीस जेव्हां D भांड्यांतील कढत्या पाण्या इतकें नळीं-

तील पाण्याचें उष्णमान होतें, तेव्हां A B नळींतील सर्व पारा खालीं उतरतो; आणि बाहेर व आंत सारख्या उंचीवर येतो. A B नळींतील पाण्याचें उष्णमान D भांड्यांतील पाण्याइतकेंच आहे, असें T उष्णमापकावरून समजतें. वाटींत व नळींत पारा सारख्या उंचीवर येतो, यावरून असें स्पष्ट सिद्ध होतें कीं, A B नळींतील वाफेचा जोर वाटींतील पाऱ्याच्या पृष्ठभागावरील हवेच्या दाबा इतकाच आहे. आणि उघड्या हवेंत कढणाऱ्या पाण्याच्या उष्णमानाइतकें नळींतील पाण्यास उष्ण करून हा जोर आणिला आहे. कारण D भांड्यांतील पाण्यावर E F आणि H या नळ्यांतून हवेचा दाब पडत आहे.

प्रयोग ३—B, C, D ही आकृतींत दाखविल्यासारखी वांकडी नळी आहे. आरंभीं हवेच्या उष्णमाना इतकें तिचें उष्णमान असतां तिजमध्यें C पासून D पर्यंत



आकृति ८३ वी.

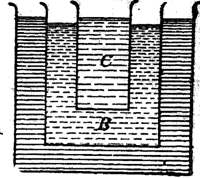
पारा भरलेला आहे. D पाशीं थोडें पाणी आहे, आणि हवा मुळींच नाहीं. या पाण्यावर हवेचा सर्व दाब असल्यामुळें तें द्रवरूपांत आहे. परंतु आतां A क्रास्कांत पाणी कढत आहे,(आ.८२ पहा.) त्यांत ही नळी घालूं. ह्मणजे लवकरच नळींतील पाणी कढूं लागतें. आणि D ठिकाणीं पाण्याची वाफ होऊन ती पाऱ्यास खालीं ढकलते, आणि शेवटीं दोन्ही नळ्यांत सारख्या उंचीवर पारा येतो. यावरून आंखुड टोंकांतील वाफेचा जोर लांब टोंकांतील हवेच्या दाबा इतका झाला यांत संशय नाहीं; आणि जेव्हां A मधील पा-

त्याच्या उष्णमानाइतकें नळींतील पाण्याचें उष्णमान होतें, तेव्हां असें घडतें. A मधील पाणी उघड्या हवेंतच कढत आहे. कारण बुचास H हें भोंक ठेविलें आहे. ह्मणून या प्रयोगानें वर सांगितलेला सिद्धांत सिद्ध झाला.

१६४. **भिन्न भिन्न द्रवांचीं कढण्याचीं उष्णमानें भिन्न भिन्न असतात.**—१३५ कलमांत आपण पाहिलें कीं, जे द्रव जास्त चपल असतात, त्यांच्या वाफेचा जोर त्याच उष्णमानावर जास्त असतो. तसेंच भिन्न भिन्न द्रवांच्या वाफेचे जोर भिन्न भिन्न उष्णमानांवर सारखे असूं शकतात. उदाहरणार्थ जेव्हां समान दाब असतां द्रव कढतात, तेव्हां त्यांच्या वाफेचे जोर ह्या दाबाबरोबर असतात. यावरून असें दिसतें कीं, समान दाब असतां ह्या भिन्न भिन्न द्रवांचीं कढण्याचीं उष्णमानें भिन्न भिन्न असतात. जसें हवेचा दाब ३० इंच असतां पाणी १००° श. उष्णमानावर; आल्कोहोल ७९° श. आणि ईथर ३६° श. या उष्णमानांवर कढतात.

याप्रमाणें एकाच विस्तवावर असतां भिन्न भिन्न द्रवांचीं उष्णमानें भिन्न भिन्न राहूं शकतात. ज्याचें उष्णमान सर्वांत कमी असतें, तें फार जोरानें सळसळून कढतें. आणि यामुळें विस्तवापासून जी त्यास उष्णता मिळते, तिचा फार जलद या रीतीनें व्यय होत असतो.

प्रयोग—आकृतींत दाखविल्यासारखीं एकाहून एक लहान अशीं A, B, C तीन कांचेचीं पंचपात्रें घ्यावीं. (आ. ८४ पहा). अगदीं बाहेरच्या A पंचपात्रांत क्याल्सिअम क्लोराईड याचा दाट द्रव घालावा. हा द्रव १३०° श. किंवा १४०° श. उष्णमानावर कढतो. दुसऱ्या B पंचपात्रांत साधें पाणी घालावें आणि अगदीं आंतील C पंचपात्रांत आल्कोहोल घालावा. नंतर सर्व कढूं लागेपर्यंत A खालीं मद्यार्काचा दिवा ठेवावा. आपणास असें आढळून येईल कीं, तिहींचीं उष्णमानें भिन्न भिन्न असतात;



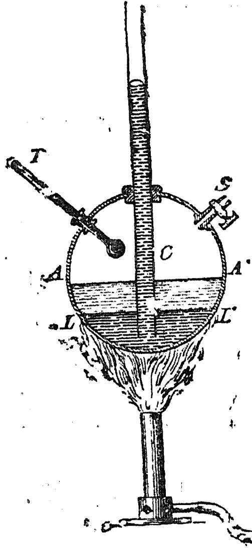
आकृति ८४ वी.

आणि जो द्रव कमी उष्णमानावर कढतो, तो फार जोरानें कढतो. जर दिवा काढून नेला तर A मधील कढण्याची क्रिया प्रथम बंद होईल. नंतर B मधील, आणि शेवटीं C मधील बंद होईल.

१६५. **दाबाप्रमाणें कढण्याचें उष्णमान बदलतें.**—कढण्याच्या क्रियेचें जें बीज आपण वर सांगितलें, त्यावरून हें उघड आहे कीं, जर आपण पृष्ठभागावरचा दाब वाढविला तर, द्रव कढूं लागण्यास त्यास जास्त उष्णमान द्यावें लागेल. आणि जर बाहेरील दाब कमी केला, तर द्रव कमी उष्णमानावर कढूं लागेल. कारण प्रत्येक वेळीं उष्णमान असें असावें लागतें कीं, जेणेंकरून बाहेरील दाबाइतका वाफेचा जोर होईल; ह्मणूनः—

१६६. **दाब वाढविल्यानें कढण्याचें उष्णमान वाढतें.**—मार्सेट याच्या यंत्रानें हें चांगलें दाखवितां येतें. त्या यंत्राच्या आकृतीचें चित्र खालीं दिलें आहे.

प्रयोग—A A′ हें बळकट असें गोलाकार भांडें आहे. याच्या खालचा भाग लोखंडी असून वरचा पितळेचा आहे. यांत तळाशीं थोडा पारा असून त्यावर थोडें पाणी आहे. यास तीन भोंकें आहेत. मधल्या भोंकांत दोहों तोंडांनीं उघडी अशी B C नळी गच्च बसविलेली आहे. ही नळी भांड्याच्या तळापर्यंत जाते, व तेथच्या पाऱ्यांत तिचें तोंड बुडतें. (आ. ८५ पहा) दुसऱ्या भोंकांत S हा काक बसविलेला आहे. त्यानें तें भोंक हवें तेव्हां उघडतां व बंद करितां येतें. तिसऱ्या भोंकांत उष्णमापक बसविलें आहे. भांड्यांत पाऱ्यावर पाणी आहे. S काक उघडला व A A′ भांड्याखालीं दिवा ठेविला म्हणजे नेहमीं प्रमाणें पाणी १०० °श. उष्णमानावर कढूं लागतें आणि पारा B C नळींत व बाहेर सारख्या उंचीवर पारा राहतो. परंतु जर S काक बंद केला, आणि A A′ भांड्याखालीं दिवा तसाच ठेविला, तर उष्णमान वाढूं लागतें, आणि तसा B C नळींत पाराही चढूं लागतो, म्हणजे पाण्यावरील दाबही वाढूं लागतो. या प्रयोगांत जास्त दाब असतां पाणी प्रत्यक्ष कढतांना दृष्टीस पडत नाहीं. परंतु यावरून हें स्पष्ट दिसतें कीं, पाण्यावर दाब वाढवून पाण्याचें उष्णमान १००° श. पेक्षां जास्त वाढवितां येतें. पाण्याचें कढण्याचें उष्णमान १००° श. हून जास्त वाढवितां येतें, हें **पेपीनचा डायजेस्टर** या यंत्रांतही दिसतें.



आकृति ८५ वी.

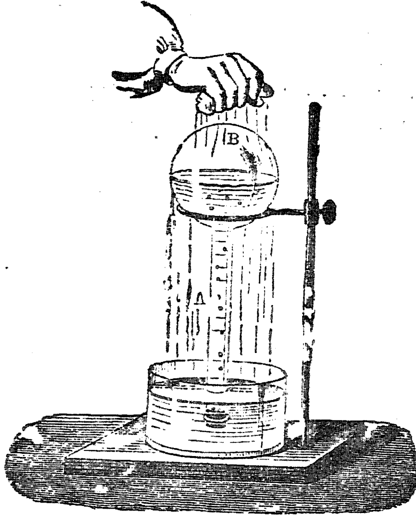
हें यंत्र बळकट लोखंडी भांड्याचें असतें. याचें झांकण पक्कें बंद करितां येतें. याच्या झांकणांत रक्षक पडदा असतो, त्याच्या योगानें दाब हवा तितका नियमित ठेवितां येतो. यांत पाणी घालून त्यावर दाब घालून हवा तितकाच वाढवितां येतो व कायम ठेवितां येतो. यांत पाणी घालून त्यास विस्तवावर ठेविलें तर जेव्हां रक्षक पडद्यास उघडून बाहेर जाण्याजोगा वाफेच्या आंगीं जोर येईल, तेव्हां पाणी कढूं लागेल. म्हणजे कढण्याचें उष्णमान रक्षक पडद्यावरील दाबावर अवलंबून राहील. ज्या कित्येक कारणांस साधें कढतें पाणी उपयोगी पडत नाहीं, त्याकरितां दाब वाढवून उंच उष्णमानावर कढणारें पाणी या रीतीनें तयार करितां येईल. उदाहरणार्थ हाडांतून **जिलेटाइन** हा पदार्थ कढण्यास असें पाणी लागतें, व तें अशा रीतीनें तयार करितां येतें.

१६७. दाब कमी केल्यानें कढण्याचें उष्णमान कमी होतें—पूर्वीच्या पेक्षां हें फार सहज रीतीनें दाखवितां येतें.

प्रयोग १—कांचेच्या एका पंचपात्रांत सरासरी ६०° श. (१४०° फा.) उष्ण-

कढूं लागेल.

प्रयोग २. कांहीं पाणी असलेलें A B हें एक फ्लास्क आहे. याच्या तोंडावर



आकृति ८६ वी.

रबराचें चांगलें गच्च बसणारें बूच आहे; व त्यास एक बारीक भोंक आहे. हें भोंक कांचेच्या तुकड्यानें सहज बंद करितां येतें. यांत थोडें पाणी घालून त्यास प्रथम चांगलें कढवावें. भांड्यांतील सर्व हवा बाहेर जाईपर्यंत बुचाचें भोंक उघडें ठेवावें. (आ. ८६ पहा). नंतर त्या खालील दिवा काढावा, आणि लागलेंच बुचाचें भोंक बंद करावें. नंतर आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें फ्लास्क उलटें करून रिटार्टीच्या बैठकीच्या वळ्यावर ठेवावें. या वेळीं पाण्याचें उष्णमान बहुतेक १००° श. वर आहे, व त्यावर १००° श. उष्णमानाच्या वाफेचा दाब आहे. ही वाफ हवेच्या दाबाइतका दाब पाण्यावर पाडीत आहे. पाणी आतां कढत नाहीं. कारण कढल्यानें त्याचें स्वतःचें उष्णमान कमी होईल, आणि त्यावरील दाब वाढेल. परंतु आपण जर B भागावर थंड पाणी ओतिलें, तर कांहीं वाफ थिजते, व तिचा जोर कमी होतो. म्हणून पाणी कढूं लागतें. शेवटीं B भागावर बर्फ ठेवून पाणी अगदीं थंड लागेपर्यंत त्यास कढवितां येतें.

सूचना—फ्लास्काचें बूड गोलाकार असून कांच जाड असावी. नाहींतर आंतील दाब कमी होतांच बूड दबलें जाईल. म्हणून भांडें कढत वाळूवर ठेवून त्यास उष्ण करावें हें बरें.

यावरून असें स्पष्ट झालें कीं, समुद्राच्या पृष्ठभागापासून पुष्कळ उंचीवर जेथें हवेचा दाब कमी असतो, तेथें पाण्याचें कढण्याचें उष्णमान १००° श. पेक्षां कमी असतें. मांट ब्लांक किंवा हिमालय यांसारख्या उंच पर्वतांच्या शिखरांवर सैंपाकाकरितां १००° श. उष्णमानाचें पाणी पाहिजे असल्यास, पेपीनच्या डायजेस्टरचा उपयोग करावा लागतो.

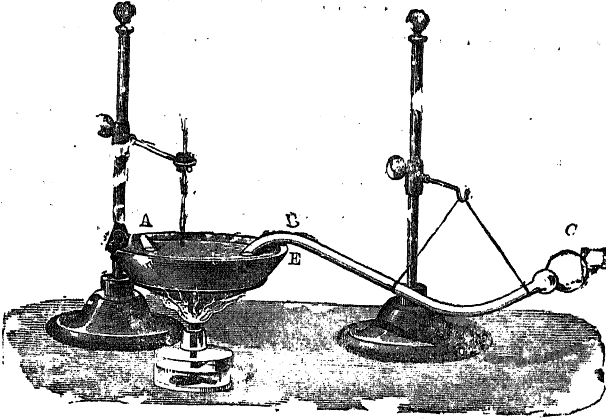
१६८. कढाच्या बिंदूवरून उंची मोजणें—विवक्षित दाबास विवक्षित कढाचा बिंदु असतो; म्हणून जर दाब व कढाचे बिंदु यांचें एकदां एक कोष्टक तयार केलें तर त्यावरून कढाचें उष्णमान पाहून बाहेरील दाब काढितां येईल.

आणि बाहेरील दाबावरून ज्या ठिकाणीं आपण आहों, त्या ठिकाणची समुद्राच्या पृष्ठभागावर किती उंची आहे, ती मापितां येईल.

१६९. कढण्याची क्रिया चालण्यास अवश्य लागणाऱ्या गोष्टी—जेव्हां वाफेचा बुडबुडा त्यावरील दाबास न जुमानतां द्रवाच्या पृष्ठभागीं राहूं शकतो, इतकें उष्णमान वाफेचें होतें तेव्हां एकदम कढण्याची क्रिया सुरू होते, असें वर सांगितलें; परंतु तशी गोष्ट नेहमीं घडत नाहीं. कारण कित्येक विशेष स्थितींत द्रव कढूं लागण्यास अडचणी येतात, आणि अशा वेळीं कढाच्या बिंदूहून द्रवाचें उष्णमान जास्त वाढवितां येतें. कढण्याच्या उष्णमानावर पाणी मोकळेपणीं कढूं लागण्यास भांडें कोठेंसें खरबरीत असावें लागतें; आणि द्रवांत हवा किंवा दुसरा वायु विद्रुत असावा लागतो. सर ई० ग्रोव्ह यानें जे प्रयोग केले, त्यांत त्यास असें आढळलें कीं, ज्यांत कोणत्यातरी वायूचा अगदीं लेश नाहीं, असा एकही पाण्याच्या वाफेचा बुडबुडा नसतो. त्या प्रयोगांत त्यास असें दिसून आलें कीं, वाफेचा प्रत्येक बुडबुडा बनण्यास कोणत्यातरी वायूचा एकेक सूक्ष्म बुडबुडा आधारभूत लागलेला आहे.

कांचेचें अगदीं स्वच्छ, साफ व गुळगुळीत भांडें घेऊन आणि पाण्यास कढवून त्यांतील हवा घालवेल तितकी युक्तीनें घालवून तसल्या पाण्याचें डोनीं यास १३०° श. पर्यंत उष्णमान वाढवितां आलें. यानंतर पाणी एकाएकीं कढूं लागलें; आणि वाफ होतांना पुष्कळ उष्णता अदृश्य झाली. यामुळें सर्व पाण्याचें उष्णमान लागलेंच कमी होऊन खऱ्या कढण्याच्या उष्णमानावर पाणी आलें.

प्रयोग—आकृतींत दाखविल्या सारखी वांकविलेली A B C ही नळी आहे. तींत A पासून B पर्यंत सारें पाणी आहे. (आ. ८७ पहा.) बाकी नळी फक्त वाफेनें भरलेली आहे. क्याल्सिअम क्लोराईड याच्या दाट द्रवाचें कढण्याचें उष्णमान उंच असतें; तसल्या द्रवांत A B भाग बुडविला आहे, व या द्रवांत उष्णमापक आहे. या



आकृति ८७ वी.

द्रवास उष्णता लाविली तर असें अनुभवास येतें कीं, A B नळींतील पाण्याचें उष्णमान १२०° श. होईपर्यंत वाढवितां येतें; आणि नंतर पाणी एकाएकीं इतकें जोरानें कढूं लागतें कीं कांहीं पाणी नळीच्या C शेवटाकडे फेंकलें जातें.

१७०. **फार उष्ण झालेली वाफ; क्षारमिश्रित द्रवाची वाफ.**—दुसऱ्या कोणत्याही वाफेप्रमाणें पाण्याची वाफ परम दार्ढ्याच्या स्थितींत असेल किंवा असणार नाहीं. वाफ परम दार्ढ्याच्या स्थितींत आहे किंवा नाहीं, याची परीक्षा करणें झाल्यास ज्या जागेंत ती वाफ आहे, त्या अवकाशांत जास्त पाणी घालून त्याची वाफ होते किंवा नाहीं, हें पहावें. वाफ झाली नाहीं तर ती परम दार्ढ्याच्या स्थितींत आहे, असें समजावें.

कढत्या पाण्यापासून निघणारी वाफ साधारणतः परम दार्ढ्याच्या स्थितींत असते. परंतु त्यांतील थोडीशी वाफ वेगळी काढून त्या नुसत्या वाफेस उष्ण केलें तर ती परम दार्ढ्याच्या स्थितींत राहत नाहीं.

तसेंच खारें पाणी गोड्या पाण्यापेक्षां जास्त उष्णमानावर पोंचल्याशिवाय कढूं लागत नाहीं; आणि कढूं लागल्यावर त्यापासून जी वाफ निघते, ती वाफ शुद्ध असते; म्हणजे तिजमध्यें क्षाराचा बिलकुल अंश असत नाहीं. परंतु असें अनुभवास आलें आहे कीं, ही वाफ ज्या खाऱ्या पाण्यांतून निघते, त्या पाण्यानें जास्त उष्ण झालेली असते. म्हणून ती परम दार्ढ्याच्या स्थितींत नसते, आणि तेवढ्याच दाबाखालीं गोडें पाणी तापत असतां जें त्याचें उष्णमान असतें, त्याहून या वाफेचें उष्णमान जास्त असतें.

परंतु जर या वाफेस किंचित शीत केलें, आणि कांहीं वाफेस थिजूं दिलें, तर बाकीची वाफ परम दार्ढ्याच्या स्थितींत येते, आणि तिचें उष्णमान कढत्या गोड्या पाण्याच्या उष्णमानाइतकें होतें.

कढत्या खाऱ्या पाण्याच्या वाफेंत उष्णमापक बुडवून गोड्यापाण्याचें उष्णमान कसें काढावें, हें वरील सूक्ष्म विचारावरून समजेल. ही वाफ थिजूं लागून परम दार्ढ्यांच्या स्थितींत आली म्हणजे उष्णमान पाहावें.

१७१. **वाफेची गुप्त किंवा अनुद्भूत उष्णता**—घनपदार्थांस वितळविण्याचें काम करण्यास म्हणजे त्यास द्रवरूप देण्यास ज्याप्रमाणें उष्णता लागते, व ती अदृश्य होते, त्याच प्रमाणें, परंतु अधिक ठळक रीतीनें सर्व प्रकारच्या बाष्पभवनांतही उष्णतेचा फार व्यय होतो; आणि द्रव कढत असतांही पुष्कळ उष्णता लागते व अदृश्य होते. साधारण हवेच्या दाबाखालीं पाणी कढत असतां काय काय होतें तें पाहूं. म्हणजे पुढील सिद्धांताचा खरेपणा सहज लक्षांत येईल.

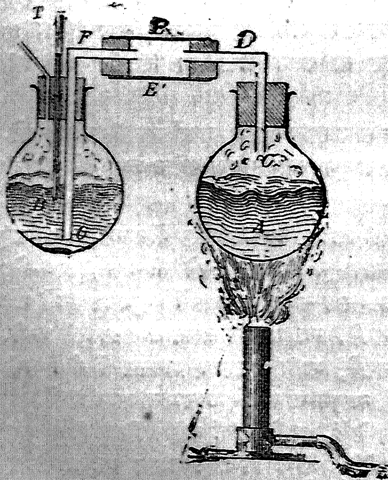
"हवेच्या साधारण दाबाखालीं पाण्याच्या वाफेची अनुद्भूत उष्णता ५३७ असते."

याचा अर्थ असा कीं, १००°श. उष्णमानाच्या एक पौंड पाण्याची १००°श. उष्णमानाची वाफ करण्यास जितकी उष्णता लागते, त्या उष्णतेनें ५३७ पौंड पाण्याचें १°श. उष्णमान वाढवितां येईल; म्हणजे आपणास ५३७ अंश उष्णता द्यावी लागेल.

तसेंच १००°श. उष्णमानाची वाफ थिजून त्या उष्णमानाचें पाणी झालें, तर तेवढी सर्व उष्णता बाहेर पडेल, म्हणजे दृश्य होईल.

पुढील प्रयोगावरून वाफेंत किती पुष्कळ उष्णता अनुद्भूत होते हें समजेल; आणि प्रयोग जर जपून केला, तर प्रत्यक्ष मापितांही येईल.

प्रयोग—A हें एक फ्लास्क आहे. यामध्यें पाणी कढत असून C D या नळीनें वाफ बाहेर जात आहे. B हें एक दुसरें फ्लास्क आहे. यांत मूळचें थंड पाणी आहे. त्या फ्लास्काच्या तोंडांत एक बूच बसविलेलें असून त्यास तीन भोंकें आहेत. एका भोंकांत F G नळी बसविलेली आहे. (आ. ८८ पहा.) तिचें G टोंक फ्लास्काच्या बुडापर्यंत गेलें आहे. दुसऱ्या भोंकांत T उष्णमापक बसविलें आहे. त्याचा फुगा पाण्यांत बुडत असून त्यावरून पाण्याचें उष्णमान समजतें. तिसऱ्या भोंकांत एक नळीचा तुकडा बसविलेला आहे, त्यानें वाफ व हवा बाहेर जातात. CD आणि F G या नळ्यांस जोडणारी मध्यें E E′ ही एक रुंद तोंडाची



आकृति ८८ वी.

नळी आहे. A भांड्यांतून B भांड्यांत वाफ जात असतां त्याबरोबर कांहीं पाणी गेल्यास तें या नळींत जमून राहतें.

प्रथम A भांड्यांतील पाणी खूप जोरानें कढूं देऊन मग दोन्ही भांडीं परस्परांस जोडावीं. याप्रमाणें जोडल्यावर B भांड्यांतील पाण्यांत जी वाफ जाते, ती थिजते आणि B भांड्यांतील पाण्याचें उष्णमान १००° श. वर चढतें. परंतु B मधील पाण्याचें वजन फारसें वाढत नाहीं. याचा अर्थ इतकाच कीं, १००° श. उष्णमानाची फार थोड्या वजनाची वाफ थिजून तिचें १००° श. उष्णमानाचें पाणी बनतें. परंतु वाफ थिजतांना जी उष्णता बाहेर पडते, ती बऱ्याच वजनाच्या पाण्याचें १६° श. पासून १००° श. पर्यंत उष्णमान चढविण्यास बस होते. B भांड्याचें प्रयोगाच्या आरंभीं व नंतर वजन करून व दोन्हीं वजनांची वजाबाकी करून जी वाफ थिजली तिचें वजन काढितां येतें.

टीप—B भांडें बुरणूस किंवा फलानीन या निकृष्ट वाहकानें लपेटावें म्हणजे B भांडें थंड होत नाहीं. T उष्णमापकाचा फुगा पुरता पाण्यांत बुडालेला आहे असें आकृतींत दाखविणें जरूर होतें.

१७२. वाट याचा सिद्धांत.—असें समजलें आहे कीं, जितक्या कमी उष्णमानावर बाष्पभवन होतें, तितकी वाफेची अनुद्भूत उष्णता जास्त असते. उदाहरणार्थ १००° श. उष्णमानाच्या पाण्याची १००° श. उष्णमानाची वाफ करण्यास जी उष्णता लागते, तिजपेक्षां ५०° श. उष्णमानाच्या पाण्याची ५०° श. उष्णमानाची वाफ करण्यास जास्त उष्णता लागते.

०°श. उष्णमानाच्या एक पौंड पाण्याचें कोणतेंही उ° उष्णमान वाढविण्यास व त्याची त्याच उष्णमानाची वाफ करण्यास जी उष्णता लागते, तीस उ° उष्णमानावरील **बाष्पभवनाची एकंदर उष्णता** असें नांव देऊन, **वाट** यानें वरील गोष्ट दर्शविण्यास जो नियम काढिला तो असा आहे.

बाष्पभवनाची एकंदर उष्णता सर्व उष्णमानांवर सारखी असते.

यासच **वाट** याचा सिद्धांत असें म्हणतात. याचा अर्थ स्पष्ट आहे. एक पौंड पाण्याचें ०°श. पासून १००°श. पर्यंत उष्णमान चढविण्यास १०० अंश उष्णता लागते. आणि त्याची त्याच उष्णमानाची वाफ करण्यास आणखी ५३७ अंश जास्त उष्णता लागते. ह्मणून १००°श. वर बाष्पभवनाची एकंदर उष्णता १००+५३७=६३७ असते. आतां एक पौंड पाण्याचें ०°श. पासून ५०°श. उष्णमान वाढवूं, आणि त्याच उष्णमानावर त्याची वाफ करूं. जर $ल_{५०}$ ही ५०° श. उष्णमानावरची गुप्त उष्णता कल्पिली, आणि **वाट** याचा सिद्धांत खरा असला, तर

$$५० + ल_{५०} = ६३७.$$

$$\text{किंवा } ल_{५०} = ६३७ - ५० = ५८७.$$

कारण ०° पासून ५०° पर्यंत उष्णमान चढविण्यास ५० अंश उष्णता लागते. म्हणून ही व गुप्त उष्णता हीं दोन्ही मिळून एकंदर उष्णतेबरोबर असलीं पाहिजेत.

तसेंच ०° श. वर गुप्त उष्णता, $ल_{०}$=६३७

आणि ६३७° श. वर, $ल_{६३७}$=०

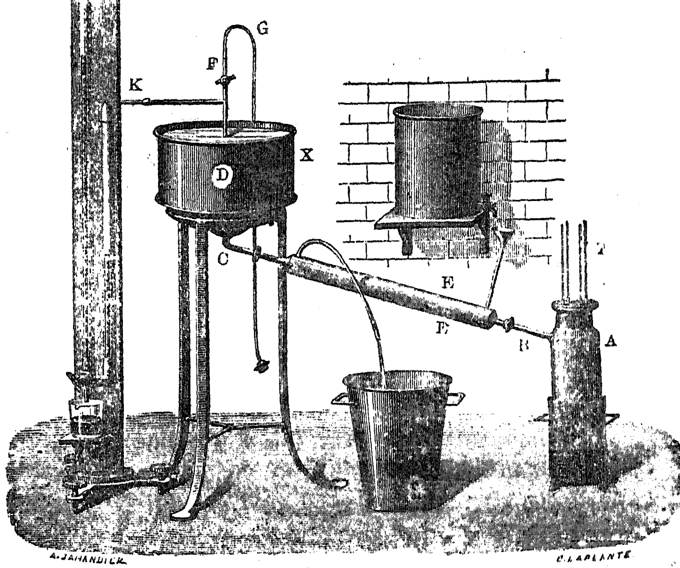
हा सिद्धांत साधारण विचाराअंतीं बरोबर असेल, असें वाटत नव्हतें; व पुढें रेग्नाल्ट यानें सिद्ध केलें कीं, हा सिद्धांत सर्वथैव बरोबर नाहीं.

बाष्पभवनाची एकंदर उष्णता कायम न राहतां ०° श. वर ६०६ असते. आणि पुढें वाढत जाऊन २३०° श. उष्णमानावर ती ६७२ असते.

परंतु १००° श. उष्णमानाहून जीं उष्णमानें फार मोठीं व फार लहान नाहींत, अशा उष्णमानांविषयीं वरील सिद्धांत बऱ्याच अंशीं खरा असतो.

१७३. ५०° श. उष्णमानाहून उच्च उष्णमानावरील वाफेचा परम शाढ्यांचा जोर—मागील प्रकरणांत कलम १४६।४७ यांत पाण्याच्या वाफेचा परमावधीचा जोर मापण्याविषयीं जें सांगितलें आहे, तें पाहिल्यास असें लक्षांत येईल कीं, त्या ठिकाणीं ५०° श. हून नीच अशा उष्णमानांवरचा वाफेचा जोर मापण्याच्या रीतीचें वर्णन केलें. आतां ५०° श. हून जास्त उष्णमानांवरील वाफेचा जोर मापण्याची रीति सांगतों. याविषयीं रेग्नाल्ट याचे प्रयोग उत्तम झाले आणि ते प्रयोग करितांना त्यानें पुढील सिद्धांताचा उपयोग केला होता. "जेव्हां द्रव मोकळेपणीं कढतो, तेव्हां कढण्याच्या उष्णमानावर त्याच्या वाफेचा परमावधीचा जोर द्रवाच्या पृष्ठभागावरील दाबा इतकाच असतो." म्हणून जर आपण निरनिराळे दाब असतां पाणी कढवूं, आणि कढण्याचीं उष्णमानें पाहूं, तर त्या त्या उष्णमानावरील वाफेचे जोर आपणास समजतील. पाणी कढविण्यास व त्याचें उष्णमान पाहण्यास कांहीं अडचण येत नाहीं. परंतु प्रयोग चालला असतां हवेचा दाब हवा तितका कायम ठेवण्यास अडचण पडते. ही अडचण दूर करण्याकरितां रेग्नाल्ट यानें आपल्या यंत्राची कशी योजना केली होती, तें सांगतों.

सोबतच्या आकृतींत या यंत्राचे मुख्य भाग दाखविले आहेत. A भांड्यांत पाणी कढत आहे; त्यांत T उष्णमापक आहे; व त्यानें त्याचें उष्णमान समजतें. भांड्यांतून वाफ B C नळीनें बाहेर जात आहे. B C नळीचा कांहीं भाग शीत करण्याकरितां तिच्या कांहीं भागावर थोरली E E′ नळी बसविलेली आहे; व तींतून थंड पाणी एकसारखें वाहात आहे. (आ. ८९ पहा) यामुळें A मधून जी वाफ BC नळींत जाते, ती थिजते, व पुनः परत A भांड्यांत पडते. BC नळी E E′ या थोरल्या नळींतून नेऊन D या तांब्याच्या मोठ्या व बळकट अशा गोलास जोडलेली आहे. हा गोल X भांड्यांत असल्यामुळें आकृतींत दिसत नाहीं. X भांड्यांत थंड पाणी घालून D गोलही शीत ठेविलेला असतो. जी वाफ BC नळींत थिजली नसेल, ती येथें थिजेल. D गोलास एक नळी जोडून तिला आणखी दोन नळ्या जोडलेल्या



आकृति ८९ वी.

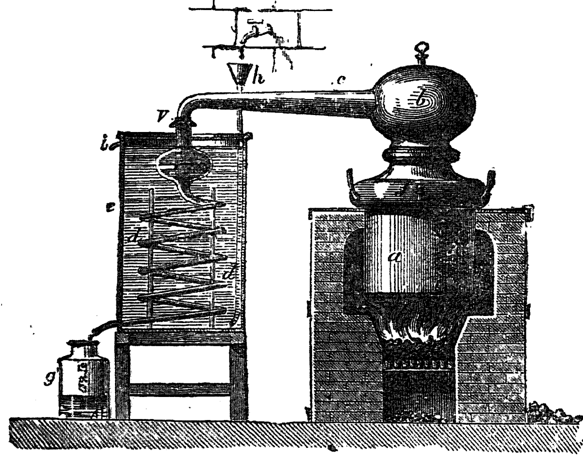
आहे. याच्या योगानें D गोलांतील वाफेचा दाब हवा तितका ठेवितां येतो. आणि दुसरी F C नळी पाऱ्याच्या दाबमापकास (याचें वर्णन कलम १०२ यांत केलें आहे.) जोडलेली आहे. याच्या योगानें हा दाब मापितां येतो.

जेव्हां दाब स्थिर होतो, (हा दाब दाबमापकावरून समजतो) आणि जेव्हां कढण्याचें उष्णमान स्थिर होतें (हें उष्णमान T उष्णमापकावरून समजतें) तेव्हां त्या उष्णमानावर तो दाब असतां वाफेचा जोर किती असतो, हें पाहतां येतें.

या प्रयोगावरून जे वाफेचे जोर निघाले, ते कलम १४८ यांतील कोष्टकांत दिले आहेत.

१७४. **ऊर्ध्वपातन (अर्क काढणें).**—ज्यांत घनपदार्थ विद्रुत झालेले आहेत अशा द्रवापासून शुद्ध द्रव, किंवा दोन द्रवांच्या मिश्रणापासून (उदाहरणार्थ पाणी व आल्कोहोल) अधिक चपल द्रव, वेगळा काढणें असेल तेव्हां ऊर्ध्वपातनाच्या रीतीचा उपयोग करितात. (आकृति ९० पहा) द्रवास *a b* भांड्यांत कढवून त्याची वाफ V भांड्यांत जाऊं देतात. नंतर *d d* या नागमोडीसारख्या नळ्यांतून जाऊं देतात. V भांडें

व d d नळी हीं e भांड्यांत बसविलेली असून त्यांत थंड पाणी असतें. यामुळें वाफ



आकृति ९० वी.

थिजते, आणि नागमोडी नळींतून द्रव बाहेर पडतो, तो g बाटलींत धरितात.

e भांड्याच्या बुडाशीं h नळींतून एकसारखें थंड पाणी जात असतें, आणि वाफ थिजल्यानें जी उष्णता बाहेर पडते, त्या उष्णतेनें जें पाणी गरम होतें, तें पृष्ठभागीं येऊन माथ्याजवळच्या i तोटींनें बाहेर जातें.

१७५. **अंडाकार स्थिति.** आम्हीं असें सांगितलें कीं, विस्तवावर द्रव असतां त्यास त्याच्या कढण्याच्या उष्णमानावरच ठेवितां येतें. हें उष्णमान विस्तवाच्या उष्णमानाहून पुष्कळ कमी असतें, आणि जी जास्त उष्णता द्रवांत येते, तिचा कढण्याच्या क्रियेंत व्यय होतो; परंतु द्रवाची अशी एक चमत्कारिक स्थिति आहे कीं, त्या स्थितींत हें घडत नाहीं. याचें कारण सहज सांगतां येतें.

पाण्याच्या कढण्याच्या उष्णमानाहून ज्याचें उष्णमान पुष्कळ जास्त आहे, अशा धातूच्या पत्र्यावर (उदाहरणार्थ लालभडक पत्र्यावर) जर आपण कांहीं पाण्याचे थेंब टाकिले, तर ते न कढतां एकत्र जमतात; व त्यांस चपट्या गोलाचा आकार येतो. व तो चपटा गोल कंपित होऊन पुढें मार्गे जात राहतो. तो थेंब चुरचुरत नाहीं, किंवा कढत नाहीं. कांहीं एक ध्वनि न करितां सावकाश नाहींसा होतो.

प्रयोग—जर आपण घड्याळाच्या कांचेसारखा किंचित खोलगट असा प्लाटिनम धातूचा पत्रा घेतला, आणि त्यास सडकून तापवून त्यावर पाण्याचे थेंब सावकाश टाकिले, तर बरेंच पाणी अंडाकार स्थितींत येईल.* पत्र्याखालील दिवा काढिल्यावर पत्रा थंड होईपर्यंत चपट्या गोलाचें चलन फारच सुंदर दिसेल.

जर पत्रा बराच तापविण्यापूर्वी पाण्याचे थेंब त्यावर टाकिले, किंवा लालभडक

वर त्यास अंडाकार स्थिति प्राप्त होते.

क्यालिसअम क्लोराईड याच्या कढत्या द्रवावर ईथर यास अंडाकार स्थिति प्राप्त होते.

[सूचना.—जेव्हां ईथरचा प्रयोग कराल तेव्हां जवळ पास दिवा राहूं देऊं नका.]

१७६. **अंडाकार स्थितीचीं कारणें.**—याचें मुख्य कारण असें आहे कीं, जो पाण्याचा चपटा गोल बनतो; तो पत्र्यास मुळींच स्पर्श करीत नाहीं. जेव्हां एकादा द्रव पृष्ठभागास आर्द्र करीत नाहीं, तेव्हां तो एकत्र जमून त्यास जास्त कमी गोल आकार प्राप्त होतो. कांचेवर, लांकडावर, किंवा मळकट अशा धातूच्या पत्र्यांवर पारा टाकिला तर वर सांगितलेला प्रकार दृष्टीस पडतो. पाणी अळवाच्या किंवा कमळाच्या पानावर घातलें असतां पाण्याची अशी स्थिति होते. कोणत्याही पृष्ठभागावर लायकोफाडियम हा पदार्थ पसरला, तर त्यावरही पाण्याची अशीच स्थिति होते.

आतां लालभडक पत्र्यावरील द्रव त्याच्या पृष्ठभागास आर्द्र करीत नाहीं; याचें कारण असें आहे कीं, पत्र्याच्या उंच उष्णमानामुळें द्रवाचा थेंब त्यावर पडतांच कांहीं द्रवाची तत्काळ वाफ होते. ती वाफ द्रव आणि पत्रा यांमध्यें राहते. यामुळें वाफेची गिरदी द्रवास मिळून द्रवाचा पत्र्यास स्पर्श होत नाहीं.

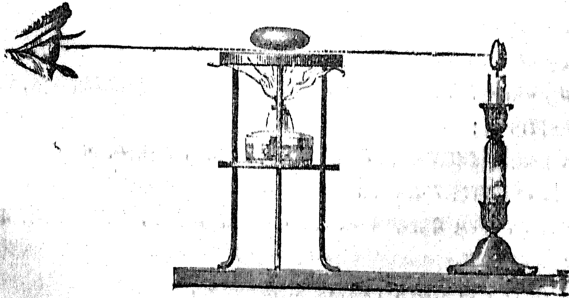
द्रव व पत्रा यांमध्यें फार निकृष्टवाहक अशी वाफ येते. थेंबाचें बाष्पभवन जरी साधारणपणें चाललें तरी तें हा वाफेचा थर कायम ठेवण्यास आणि द्रवाचें उष्णमान कढण्याच्या उष्णमानापेक्षां बरेंच कमी ठेवण्यास पुरें होतें.

द्रव पत्र्यास स्पर्श करीत नाहीं. हें अनेक रीतींनीं दाखवितां येतें.

प्रयोग १—द्रव आणि पत्रा यांमधून मेणबत्तीचा प्रकाश दृष्टीस पडतो.

प्लाटिनम किंवा रूपें यांपैकीं एका धातूच्या तारेनें द्रवाच्या थेंबास स्थिर धरून त्याखालून मेणबत्तीची ज्योत किंवा तिचा प्रकाश पाहवा. (आकृति ९१ पहा)

प्रयोग २—विद्युन्मालेच्या एका ध्रुवाचें टोंक द्रवास व दुसऱ्याचें टोंक पत्र्यास लाविलें,



आकृति ९१ वी.

तर प्रवाह वाहत नाहीं. जर द्रवाचा व पत्र्याचा स्पर्श झाला असता, तर प्रवाह सहज वाहता.

प्रयोग ३—प्लाटिनम धातूच्या तारांच्या जाळीचा तुकडा घेतला, तर त्यांतून साधारणतः पाणी खालीं पडेल. परंतु जर त्यास लाल भडक केलें, तर त्यावर पाणी अंडाकार स्थितींत राहतें. यावरून तें जाळीस खरोखर स्पर्श करीत नाहीं.

१७७. **अंडाकार स्थितीचीं दुसरीं उदाहरणें (१) विस्तवानें दिव्य करणें**—जर हात ओला केला, आणि वितळलेल्या शिशाच्या रसांत बुडविला, तर हाताभोंवतीं वाफेचा थर बनून हातास इजा होत नाहीं, आणि पाण्याच्या थेंबाप्रमाणें तो थंड राहतो. या रीतीनें कितीएक वेळा दिव्य करण्यांत इजा होत नाहीं.

(२) **तापक फुटणें**—पाण्यामध्यें जे दुसरे क्षार विद्रुत असतात, त्यांच्या योगानें तापकाच्या आंतल्या बाजूवर चुना किंवा दुसरे पदार्थ यांचा जास्तकमी जाडीचा थर बनतो. हा थर फार निकृष्टवाहक असतो, आणि यामुळें तापकाचा पत्रा लालभडकही होऊं शकतो, आणि जर या चुन्याचा तुकडा तापकाच्या किंवा यंत्राच्या चलनानें कोणत्याही भागावरून निघाला, तर लालभडक पत्र्यासन्निध पाणी येतें; आणि त्यास अंडाकार स्थिति प्राप्त होते, व वाफ मुळींच होत नाहीं. परंतु आतां जर लोखंड बरेंच थंड झालें, आणि पाण्यानें त्यास प्रत्यक्ष स्पर्श केला, तर त्या वेळीं एकदम इतकी वाफ उत्पन्न होते कीं, तेणेंकरून तापक बहुतेक फुटतो.

आठव्या प्रकरणावरील प्रश्न.

(१) कलम १६३ प्रयोग २ आ. ८२ यांत पुढील स्थितींत कोणत्या गोष्टी घडतील तें स्पष्ट करून सांगा.

(१) D मध्यें पाण्याहून जास्त उष्णमानावर कढणारें तेल असेल आणि A मध्यें पाणी असेल;

(२) D मध्यें पाण्याहून कमी उष्णमानावर कढणारा मद्यार्क असेल, व A मध्यें पाणी असेल.

(३) D आणि A या दोहोंमध्यें तेल असेल;

(४) ज्या खोलींत प्रयोग करीत आहों, किंवा प्रयोग चालला आहे, त्या खोलींतील दाब वाढविला;

(५) यंत्रांत इतका फेरफार केला कीं, D मधील पाण्यावरील दाब वाढविला, आणि L L भांड्यावरील दाब तसाच ठेविला.

(२) कलम १६३ प्रयोग २ आकृति ८२ यांत खालीं लिहिल्याप्रसंगीं काय घडेल तें स्पष्ट करून सांगा.

(१) D मध्यें तेल व A मध्यें पाणी असेल;

(२) B नळीचा शेवट बंद केला असेल;

(३) ऊर्ध्वपातनानें शुद्ध पाणी तयार करण्याच्या कृतींत ज्या भांड्यांत नागमोडीची नळी आहे, त्यांतील पाणी जलदी गरम होतें, आणि वरचेवर बदलावें लागतें, याचें कारण काय ?

(४) घरांत ऊब आणण्याकरितां पाण्याची वाफ घेतली, व गरम पाणी घेतलें तर त्या दोहोंत अधिक फायदेशीर कोणतें ?

(५) कांहीं पाणी अगदीं स्थिर ठेविलें, आणि त्याचें उष्णमान १००° श. वर चढविलें. आतां जर त्यास हालविलें तर तें लागलेंच कढूं लागतें. परंतु त्यांतील थोड्याच पाण्याची वाफ होते याचें कारण काय ?

(६) मागील उदाहरणांत पाण्याचें उष्णमान किती वाढविलें असतां हालविल्यावर एकदम सर्व पाण्याची वाफ होईल ?

(७) ज्या तापकांत जास्त दाबाची वाफ होते आहे, त्याचा माथा उडाला, तर त्यापासून तापकांतील पाण्यावर कोणते परिणाम घडतील. याचें तपशीलवार वर्णन कर.

(८) कार्बानचा बायसल्फाईड आणि पाणी यांच्या मिश्रणाचें उष्णमान प्रत्येकाच्या काढण्याच्या उष्णमानापेक्षां कां कमी असतें ?

(९) वाट याचा सिद्धांत जर खरा असेल, तर ०°श. उष्णमानाच्या एक पौंड बर्फाची वाफ होण्यास किती अंश उष्णता लागेल ?

प्रकरण ९.

आर्द्रतामापन, ढग, धुकें, वगैरे.

१७८. **आर्द्रतामापन आणि आर्द्रता यांचे अर्थ**—आपण असें पाहिलें कीं, विवक्षित अवकाशांत जास्त किंवा कमी वाफ राहूं शकते; आणि जेव्हां विवक्षित उष्ण-मानावर विवक्षित अवकाशांत जितकी वाफ राहूं शकते, तितकी असली म्हणजे तो अवकाश वाफेनें परिप्लुत झाला असें म्हटलें आहे.

उदाहरणार्थ, हवा पाण्याच्या वाफेनें परिप्लुत असते किंवा नसते. हवेंत वाफेचें मान किती आहे, हें मापण्याचें जें शास्त्र त्यास **आर्द्रतामापन** म्हणतात. हवेंत वाफेचें मान म्हणण्याच्या बदली फक्त आर्द्रता असें म्हणूं. याचा अर्थ बरोबर लक्षांत येण्या-करितां आतां त्याची व्याख्या देऊं. जर $उ^{\circ}$श. उष्णमानावर विवक्षित आकारमानाच्या हवेस वाफेनें परिप्लुत करण्यास जें पाणी म्हणजे पाण्याची वाफ लागेल, त्याचें वजन दर्शविण्यास $व_{उ}$ अक्षर घेऊं. आणि त्याच आकाराच्या हवेंत वास्तविक जी वाफ असेल तिचें वजन **ए** या अक्षरानें दर्शवूं. जर हवेची आर्द्रता ह कल्पिली, तर हची किंमत अशी होते.

$$ह = \frac{ए}{व_{उ}}:$$

ज्यापेक्षां हवेंत तिला परिप्लुत करण्यास जितकी वाफ लागेल, त्याहून जास्त वाफ असूं शकणार नाहीं, त्यापेक्षां $व_{उ}$ पेक्षां **ए** कधीं मोठा असूं शकणार नाहीं. यास्तव जेव्हां हवा वाफेनें परिप्लुत असेल, तेव्हां—

$$ह = \frac{व_{उ}}{व_{उ}} = १.$$

असेल, आणि जेव्हां हवेंत अगदीं वाफ असणार नाहीं, म्हणजे हवा अगदीं कोरडी असेल तेव्हां **ए**=० असेल; म्हणून हवेची आर्द्रता ० होईल. याकरितां हची किंमत १ आणि ० यां मध्यें कांहींतरी असेल.

१७९. **आर्द्रतादर्शक**—कित्येक यंत्रें अशीं आहेत कीं, त्यांवरून हवेंत आर्द्रता आहे एवढें समजतें. परंतु त्यांवरून हवेंतील आर्द्रतेचें मान समजत नाहीं. म्हणून अशा यंत्रास **आर्द्रतामापक** न म्हणतां **आर्द्रतादर्शक** म्हणतात.

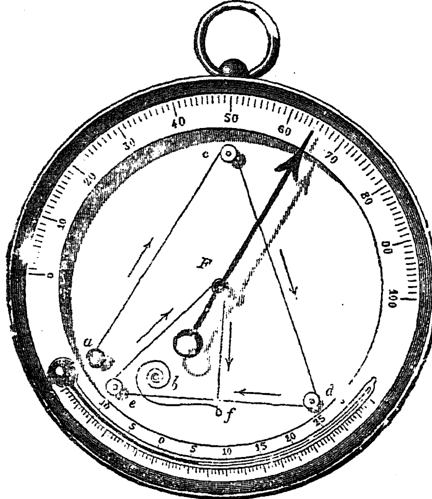
१. समुद्रांतील तृण हें सर्वांत साधें आर्द्रतादर्शक आहे. यांत अनेक क्षार असतात, व त्यांची पाण्याशीं मोठी प्रीति असते. म्हणून हवेंत जशी आर्द्रता असेल त्याप्रमाणें हें तृण जास्तकमी ओलसर होतें.

२. **क्याटगटचे (तातीचें) आर्द्रतादर्शक**—जाड व पीळदार तात जर चांगली स्वच्छ केली, तर ती हवेंतील आर्द्रता शोषण करील, आणि हवेंतील आर्द्रतेच्या माना-प्रमाणें जास्त कमी ओलसर होईल, म्हणजे सर्दावेल. आतां असली तात सर्दावली

… जवळ असते, तेव्हां एक मनुष्य छत्री घेऊन असलेल्या घरांतून बाहेर येतो, आणि म्हणून त्या वेळीं पाऊस लागण्याचा संभव आहे असा अंदाज होतो. आणि जेव्हां हवा कोरडी असते तेव्हां मनुष्य आपोआप आंत जातो, व एक स्त्री पंखा घेऊन बाहेर येते. बाहेर येणें व आंत जाणें या क्रिया तातीच्या आखूड व लांब होण्यानें घडतात. अशीं घरकुलें अद्याप (विलायतेंत) छोट्या खेड्यांमध्यें दृष्टीस पडतात.

३. मानिअर याचा केंसाचा आर्द्रतादर्शक—चांगला स्वच्छ केलेला केंसही जास्तकमी आर्द्रता शोषण करितो. यामुळें आर्द्रताशोषण केल्यामुळें तो ज्या मानानें आंखूड होतो, त्यावरून हवेंतील वाफेचें मान समजतें.

खालील आकृतींत एक कांटा आहे तो अंश पाडलेल्या वाटोळ्या तबकडीवर फिरतो. (आकृति ९२ पहा) हा कांटा फार सूक्ष्ममानानें तोललेला असून तो सहज E या आंसा-



आकृति ९२ वी.

वर फिरतो. चांगला स्वच्छ केलेला केंस a ठिकाणीं अडकविलेला असून तो $c\ d\ e$ या हलक्या व लहान कप्प्यांवरून नेऊन कांट्याच्या F आंसाभोंवतीं कित्येक वळसे देऊन f ठिकाणीं एका थोड्या पाण्याच्या अशा निःशक्त b कमानीस गच्च बांधिला आहे.

यावरून उघड आहे कीं, हवेंतील आर्द्रतेप्रमाणें केंसाची लांबी बदलेल व त्याप्रमाणें कांटा पुढें मागें फिरेल, आणि हवेंतील आर्द्रता समजेल.

सर्वमान्य अशा आर्द्रतामापकावरून असल्या यंत्रावर अंश मांडिले म्हणजे यानें हवेंतील आर्द्रतेचें मानही समजतें.

प्रयोग—आर्द्र हवा ज्या खोलींत आहे, अशा खोलींत आणि ज्या खोलींतील हवा क्याल्शिअम क्लोराइडानें कोरडी केलेली आहे, अशा खोलींत हें यंत्र ठेवावें, म्हणजे कांटा जास्तकमी पुढें मागें कसा जातो हें समजेल.

१८०. आर्द्रतामापक—ज्या सूक्ष्मयंत्राच्या योगानें आपणास $\frac{प}{व_{उ}}$ या अपूर्णांकाची किंमत काढितां येते, अशा यंत्राचा विचार करूं. या अपूर्णांकावरून आपणास हवेच्या आर्द्रतेचें मान समजतें.

प्रत्यक्ष प्रयोगावरून किंवा कलम १५२ यांत सांगितल्या रीतीनें निरनिराळ्या उष्णमानांवर विवक्षित आकारमानाच्या हवेस परिप्लुत करण्यास किती वजनाचें पाणी म्हणजे पाण्याची वाफ पाहिजे यांचें व त्या त्या उष्णमानांचें कोष्टक तयार करितां येईल. म्हणून या कोष्टकावरून आपणास $\frac{प}{व_{उ}}$ या अपूर्णांकाचा छेद $व_{उ}$ समजेल. यास्तव प्रत्यक्ष प्रयोगानें फक्त याचा अंश प मात्र काढावयाचा असतो. म्हणजे ज्या हवेचा विचार करीत आहों, तसल्या विवक्षित आकाराच्या हवेंत प्रत्यक्ष किती वजनाचें पाणी आहे, एवढेंच काढावयाचें असतें.

१८१. रासायनिक आर्द्रतामापक—प वजन काढण्याची अगदीं सरळ रीति म्हटली म्हणजे रासायनिक आर्द्रतामापकाची होय. या यंत्रांत विवक्षित आकाराचा वायु (जितका आकार मोठा घ्यावा तितकी चूक कमी होते) आर्द्रताशोषक अशा पदार्थानें भरलेल्या नळ्यांतून जाऊं देतात. आर्द्रताशोषक पदार्थ हवेंतील सर्व आर्द्रता शोषून घेतो. नळ्यांचें पूर्वी व नंतर वजन केलें म्हणजे त्या दोहों मधील जें अंतर तें ज्या आकाराची हवा नळ्यांतून घालविली असेल, तिजमधील पाण्याचें वजन असतें. यावरून हव्या त्या आकाराच्या हवेंतील पाण्याच्या वाफेचें वजन प काढितां येतें. हवेचें जें उष्णमान असेल, त्या उष्णमानावर हवेस परिप्लुत करण्यास पाणी किती लागतें, तें कोष्टकांत पाहून $व_{उ}$ याची किंमत काढितां येते. आणि यावरून $\frac{प}{व_{उ}}$ याची किंमत समजते.

टीप—तीव्र सल्फ्युरिक आसिडांत पमिसस्टोन याचे तुकडे भिजवून नळ्यांत भारतात; किंवा क्याल्सिअम क्लोराइडाचे खडे भरतात.

नळ्यांतून घालविलेल्या हवेचें आकारमान मोजण्याचें काम अगदीं साधें नसतें. परंतु त्याविषयीं आम्ही येथें जास्त विचार करीत नाहीं.

१८२. दंवाचा बिंदु दर्शविणारें आर्द्रतामापक—ज्या आर्द्रतामापकाचा साधारणपणें उपयोग करितात, त्याविषयीं आतां विचार करूं. यास दंवाचा बिंदु दर्शविणारें असें नांव कां दिलें आहे, तें लवकरच समजेल. या आर्द्रतामापकांत प्रथमतः हवेचें उष्णमान काय आहे हें आपण पाहतों. तें उ°श. आहे असें समजूं. नंतर हवेंत

असलेल्या वाफेनें हवा परिप्लुत व्हावी व ती वाफ थिजून दहिंवर पडूं लागावें. इतकें हवेच्या कांहीं भागाचें उष्णमान आपण कमी करितों; तें उष्णमान $\text{उ}_{१}$° श. आहे असें घेऊं. असें होणें अगदीं शक्य आहे. कारण जर हवेंत कांहीं पाण्याची वाफ असेल, (आणि सर्वदा हवेंत कांहीं तरी वाफ असते) तर जरी ही वाफ हवेच्या हल्लींच्या उ° श. उष्णमानावर तिला परिप्लुत करीत नाहीं, तरी ती $\text{उ}_{१}$° श. या कोणत्या तरी कमी उष्णमानावर तिला परिप्लुत करूं शकेल. येणेंकरून आपणास हवेंतील वाफेचा वास्तविक जोर समजतो. कारण तो $\text{उ}_{१}$° श. उष्णमानावर जो परमावधीचा जोर तोच या वाफेचा असला पाहिजे. तो $\text{द}_{\text{उ}१}$ आहे असें समजूं. आतां उ° श. उष्णमानाच्या एक लीटर हवेमधील वाफेचें प्रत्यक्ष वजन (प) किती आहे, हें काढावयाचें राहिलें. तें कलम १५२ यांत दिलेल्या सारणीवरून असें निघतें.—

$$\text{प} = \text{ढ}\frac{१.२९३ \times \text{द}_{\text{उ}१} \times २७३}{७६० \times (२७३ + \text{उ})} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (१)$$

आणि याच सारणीवरून—

$$\text{व}_{\text{उ}} = \text{ढ}\frac{१.२९३ \times \text{द}_{\text{उ}} \times २७३}{७६० \times (२७३ + \text{उ})} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (२)$$

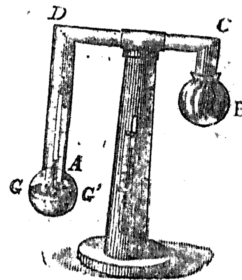
(१) यास (२) यानें भागून—

$$\text{ह} = \frac{\text{प}}{\text{व}_{\text{उ}}} = \frac{\text{द}_{\text{उ}१}}{\text{द}_{\text{उ}}}$$

जर आपणास दंवाचा बिंदु $\text{उ}_{१}$ आणि हवेचें उष्णमान उ अशीं समजलीं, तर या प्रकरणाच्या शेवटीं परमावधीच्या दाढ्यांच्या जोराचें जें कोष्टक दिलें आहे, त्याच्या साहाय्यानें ह म्हणजे हवेंतील आर्द्रता किंवा आर्द्रतेचें मान काढितां येईल.

१८३. डेनिअल याचें दंवाचा बिंदू दाखविणारें आर्द्रतामापक—या यंत्रानें दंवाच्या बिंदूपर्यंत कांहीं हवेस थंड करितात आणि असें होण्याच्या वेळचें तिचें उष्णमान खालीं लिहिल्याप्रमाणें मापितात.

C D या वांकविलेल्या नळीनें A आणि B हे दोन फुगे जोडलेले आहेत. साऱ्या नळींत यांपैकीं A हा एक फुगा अर्धा भरण्यापुरता ईथर हा मद्यार्क आहे. नळीच्या बाकीच्या पोकळींत ईथरची वाफ आहे, व हवा बिलकुल नाहीं. A फुग्यांत एक लहान उष्णमापक आहे, व त्याचा फुगा Aमधील ईथर मध्यें बुडालेला आहे. (आ. ९३ पहा) A फुग्या सभोंवतीं त्यांतील उष्णमापकाच्या फुग्या इतक्या उंचीवर एक चकचकीत सोन्याच्या



आकृति ९३ वी.

तारेचें वळें किंवा काळ्या केलेल्या कांचेचें वळें आहे. B फुग्या सभोंवतीं मसलीनचा पातळ कपडा बांधलेला आहे. यंत्राच्या बैठकीवर आणखी एक उष्णमापक असतें. यानें त्या वेळचें हवेचें उष्णमान उ° श. समजतें आणि म्हणून आपणास कोष्टकावरून $द_{उ}$ म्हणजे त्या उष्णमानावरचा वाफेचा परमावधीचा दाब एकदम काढितां येतो.

B फुग्यावरील कापडावर ईथर ओतून त्यास त्याच्या बाष्पभवनानें शीत करावें. येणेंकरून क्रायफोरस मधील वाफ ज्याप्रमाणें थिजली त्याप्रमाणें B मधील वाफ थिजते, आणि A मधील ईथरची आणखी वाफ होते, व येणें करून A मधील ईथरचें उष्णमान कमी होतें. ईथरबरोबर त्यांतील उष्णमापक आणि सर्व A फुगा शीत होतो. फुग्या भोंवतालच्या वळ्याचें उष्णमान आंतील उष्णमापकावरून बरेंच बरोबर समजतें; कारण हें वळें व उष्णमापकाचा फुगा सारख्या उंचीवर असतात. हें वळें शीत झाल्यावर बाहेरील जी हवा त्याच्या सन्निध असते, तीही थंड होते, आणि उष्णमान बरेंच उतरलें, म्हणजे तिजमधील वाफ थिजून वळ्यावर दंव पडतो.

ईथरचें उष्णमान कमी होतें, त्याप्रमाणें त्यांतील उष्णमापक फुग्यावरील वळ्यापेक्षां जास्त थंड होतें. म्हणून जेव्हां प्रथम दंव पडतो, तेव्हां उष्णमापकावरून जें उष्णमान समजतें तें कांहींसें कमी असतें. हें उष्णमान उ' आहे असें समजूं. परंतु जर B फुग्यास शीत करण्याचें बंद केलें आणि A चें उष्णमान पुनः चढूं दिलें, तर फुग्यावर दिसाता त्यापेक्षां कांहीं जास्त वेळ दंव दिसेल. म्हणजे लहान उष्णमापकाचें उष्णमान थोडेसें वाढल्यावरही दंव दिसेल. हें उष्णमान उ'' असें कल्पूं. तर खरा दंवाचा बिंदु असा असेल—

$$उ_{१} = \frac{उ' + उ''}{२}$$

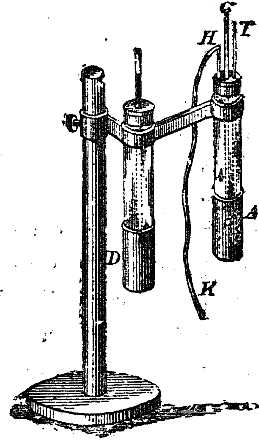
नंतर या प्रकरणाच्या शेवटीं दिलेल्या कोष्टकांत $द_{उ१}$ याची किंमत पाहून हवेची आर्द्रता अशी काढितां येते:—

$$ह = \frac{द_{उ१}}{द_{उ}}$$

१८४. रेग्नाल्टचें दंवाचा बिंदु दाखविणारें आर्द्रतामापक—वरील यंत्रांत कित्येक मोठे दोष आहेत. (१) प्रयोग करणारास यंत्राजवळ फार राहावें लागतें; (२) प्रथम केव्हां दंव पडण्यास सुरू होतो हें बरोबर सांगतां येत नाहीं. रेग्नाल्टच्या यंत्रांत हे दोष खालीं लिहिल्याप्रमाणें काढून टाकिले आहेत.

A ही एक रुंद तोंडाची परीक्षा नळी आहे. तिचें बूड कापून त्या ठिकाणीं पातळ व चकचकीत रुप्याच्या पत्र्याची नळी बसविली आहे. रुपें हा धातु चांगला उष्णतावाहक आहे, म्हणून रुप्याच्या नळीच्या बाहेरील हवेचें व त्यांतील ईथरचें उष्णमान हीं सारखीं असतील. नळींत ईथर असून त्यांत T या उष्णमापकाचा फुगा बुड-

बिलेला आहे व तो रुप्याच्या भागांत आहे. (आ. ९४ पहा.) A नळीच्या बुडापर्यंत जाणारी व दोहों तोंडांनीं उघडी अशी C नळी आहे. H K नळी A च्या माथ्यापासून वायुपात्रास जोडलेली आहे. हिच्या योगानें A मधील हवा वायुपात्रांत ओढून घेतां येते. या सर्व नळ्या A च्या तोंडांत बसविलेल्या बुचांत बसविलेल्या असतात. वायुपात्राचा कॉक फिरवून त्यांतील पाणी जाऊं दिलें, म्हणजे C नळींतून A च्या बुडावरील ईथरमध्यें बाहेरील हवा शिरून ईथर मधून तिचे बुडबुडे वर येतात. म्हणून ईथरचें बाष्पभवन चालून तें शीत होतें. ईथराची वाफ व हवा H K नळीनें वायुपात्रांत जाते. येणेंकरून मागील यंत्रांतल्याप्रमाणें यंत्राजवळच्या हवेंत कांहीं फेरफार होत नाहीं. T या उष्णमापकानें ईथरचें जें उष्णमान असतें तें छोट्या दुर्बिणीनें अंतरावरून पाहतात. रुप्याच्या पत्र्याच्या बुडाची तसलीच, दुसरी नळी D शेजारीं असते. ती थंड होत नाहीं म्हणून चकचकीत असते, यामुळें A नळीचें बुड मंद दिसूं लागलें म्हणजे त्यावरून दंव केव्हां पडूं लागतो, हें समजण्यास तिचा मोठा उपयोग होतो. या दुसऱ्या शीत न झालेल्या D नळींतील उष्णमापकावरून हवेचें उष्णमान उ°श. समजतें. बाकी सर्व रीति मागीलप्रमाणेंच आहे.



आकृति ९४ वी.

१८५. **परिप्लुत करणाऱ्या पाण्याचें वजन काढणें**—एक लीटर हवेस निरनिराळ्या उष्णमानावर वाफेनें परिप्लुत करण्यास ज्या वजनाचें पाणी लागतें, त्या वजनाचें कोष्टक, कलम १८१ यांत सांगितलेल्या रीतीस लागतें. प्रकरण ७ कलम १५२ यावरून आपणास असें काढितां येतें कीं, जर उ° श. उष्णमान असून त्या उष्णमानावर द हा पाण्याच्या वाफेचा परमावधीच्या दाढ्यांचा जोर असला (या जोराचें कोष्टक कलम १४८ यांत दिलें आहे.) तर,—

$$व_{उ} = \frac{\cdot६२२ \times १.२९३ \times द \times २७३}{७६० \times (२७३ + उ)}$$

म्हणून या सारणीनें आणि द च्या किमतींचें कलम १४८ यांत दिलेलें कोष्टक यांवरून वरील कोष्टक तयार करितां येईल. याप्रमाणें काढिलेलें कोष्टक प्रत्यक्ष प्रयोगांवरूनही खरें ठरलें आहे.

एक लीटर हवेस ०° श. पासून ३०° श. पर्यंत उष्णमान असतां परिप्लुत करण्यास जें पाणी लागतें, त्याची मिलिग्राम (सहस्रांशग्राम) मध्यें वजनें पुढील कोष्टकांत दिलीं आहेत.

शतभाग उष्णमान.	परिप्लुत करणाऱ्या पाण्याचें वजन मिलिग्राम (सहस्रांशग्राम) मध्यें.	शतभाग उष्णमान.	परप्लुत करणाऱ्या पाण्याचें वजन मिलिग्राम (सहस्रांशग्राम) मध्यें.
०°	४.८६८	१६°	१३.५३१
१°	५.२०९	१७°	१४.३६६
२°	५.५७०	१८°	१५.२४६
३°	५.९५३	१९°	१६.१७२
४°	६.३५९	२०°	१७.१४७
५°	६.७८९	२१°	१८.१७४
६°	७.२४६	२२°	१९.२५२
७°	७.७३०	२३°	२०.३८६
८°	८.२४२	२४°	२१.५७८
९°	८.७८४	२५°	२२.८३०
१०°	९.३५६	२६°	२४.१४३
११°	९.९६१	२७°	२५.५२४
१२°	१०.६००	२८°	२६.९७१
१३°	११.२७५	२९°	२८.४९०
१४°	११.९८७	३०°	३०.०७९
१५°	१२.७३८		

१८६. **ओल्या व कोरड्या फुग्याचें आर्द्रतामापक**—हें यंत्र सर्व साधारण प्रचारांत आहे. याचें बीज असें आहे कीं, हवेंत जशी जास्त कमी आर्द्रता असेल, त्याप्रमाणें बाष्पभवन जलद किंवा सावकाश चालतें.

एका बैठकीवर A आणि B हीं दोन उष्णमापकें आहेत. A हें तसेंच आहे. परंतु B चा फुगा मसलीनच्या कपड्यानें मढवून तो कपडा सतत ओला ठेवितात. याकरितां पाण्याच्या भांड्यांतून वात किंवा चिंधी आणून ती या कपड्यावर सोडलेली असते.

B वरील कपड्यापासून जें बाष्पभवन घडतें, तेणेंकरून तो शीत होतो. यामुळें B उष्णमापक नेहमी A पेक्षां कमी उष्णमान दाखवितें. A नें हवेचें उष्णमान समजतें. (आ. ९५ पहा.)

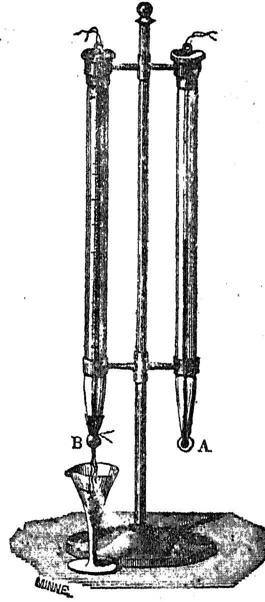
आतां जेव्हां एखादा पदार्थ हवेपेक्षां कमी उष्णमानावर असतो, तेव्हां पुढें प्रकरण १२ यांत सांगितल्याप्रमाणें तो जितकी उष्णता विसर्जित करितो तिजपेक्षां जास्त उष्णता शोषण करितो, आणि अशा रीतीनें हवेच्या इतक्या उष्णमानावर येण्याचा त्याचा कल असतो.

टीप—येथें हवेचें उष्णमान असें म्हणणें हें केवळ स्थूल मानाचें असून सूक्ष्मदृष्ट्या बरोबर नाहीं; परंतु प्रस्तुतच्या विवेचनास चालेल.

यास्तव एकसारखें बाष्पभवन चालू ठेवून A हून कमी उष्णमानावर B स ठेवितां येईल, आणि हें जसें जास्तकमी वेगानें घडेल त्याप्रमाणें B मधील पारा A मधील पाऱ्यापेक्षां जास्त किंवा कमी अंतरावर असेल.

बाष्पभवनाचा वेग (१) हवेच्या आर्द्रतामानावर आणि तिच्या दाबावर अवलंबून असतो. यास्तव A आणि B यांच्या उष्णमानामधील अंतर, आणि त्या वेळची भारमापकांतील पाऱ्याची उंची पाहून हवेची आर्द्रता काढितां येईल.

मागीलप्रमाणें याची उपपत्ति सांगणें सोपें नाहीं. यास्तव आह्मी ती येथें देत नाहीं. इतकें सांगणें बस आहे कीं, जितकी हवा कोरडी असेल, तितकें A आणि B मधील अंतर जास्त असतें, आणि जर हवा वाफेनें परिप्लुत असली तर दोन्ही सारख्या उष्णमानावर असतात.



आ. ९९ वी.

ढग आणि धुकें.

१८७. ढग आणि धुकें यांचें स्वरूप—हवेच्या आर्द्रतामानाचा विचार केल्यावर हवा वाफेनें परिप्लुत होऊन जेव्हां तिजमधील वाफ थिजून पाणी बनतें तेव्हां त्यापासून जे परिणाम घडतात, त्यांचा विचार करणें हें येथें स्वाभाविक आहे.

खरी वाफ अदृश्य असते. जेव्हां ती थिजते तेव्हां तिचे साधारणपणें पाण्याचे थेंब बनतात. हे थेंब मोठे असले तर ते पर्जन्यरूपानें खालीं पडतात, किंवा चपटे होऊन पानें व भिंती यांस लोंबत राहतात. परंतु हे थेंब जर फारच लहान असले, तर फार चमत्कारिक पण सर्वांच्या नेहमी पाहण्यांतला असा परिणाम घडतो.

हें आपणास माहीत आहे कीं, काकवींत तोफेचे गोळे जलदी बुडतील; परंतु बंदुकीच्या गोळ्या त्याहून सावकाश, व छरे फारच सावकाश बुडतील. परंतु पाण्यांत बारीक छरे जलदी बुडतील. तथापि धातूची बारीक भुकी पाण्यांत सावकाश बुडेल. हीच भुकी हवेंतून जलदी उतरण्याजोगी जड असेल; परंतु याहून बारीक रजोरूप भुकी हवेंतून सुद्धां सावकाश पडेल.

काकवी, पाणी किंवा हवा यांतून पदार्थ सावकाश पडतात, याचें कारण त्यांचा जास्त कमी रबरबीतपणा होय. (काकवी व मध यांची पाणी व मद्यार्क यांच्याशीं तुलना केली असतां पहिले दोन रबरबीत असतात, असें म्हटलें म्हणजे रबरबीत या-चा अर्थ जास्त स्पष्ट समजेल.)

हवे सारख्या प्रवाही पदार्थास आपण कधीं सांद्र किंवा स्निग्ध असें समजत नाहीं. तथापि स्पष्टपणें जे पदार्थ सांद्र किंवा दाट असतात त्यांचें जसें साधारण कणांशीं वर्तन होतें, तसें सूक्ष्म रजःकणांशीं सांद्र पदार्थांसारखें हवेचें वर्तन घडतें; आणि हवेंत जे ढग तरंगत व लोंबत राहतात, याचें कारण हेंच आहे. ज्या पाण्याच्या कणाचे ते बनले आहेत, ते हवेपेक्षां जड असतात, म्हणून ते हवेंतून खालीं पडत असतात. परंतु हवेच्या सांद्रपणामुळें सावकाश खालीं येतात. शांत हवेंत प्रत्येक ढग खालीं पडत असतो. परंतु तेव्हांही जसजसा तो गरम हवेंत खालीं येतो, त्याप्रमाणें त्याची खालच्या पृष्ठभागाची एक सारखी अदृश्य वाफ होत असते. यामुळें त्याचा आकार एकसा-रखा कमी कमी होत जातो. यावरूनच मात्र तो खालीं पडत आहे, असें लक्षांत येतें. परंतु त्यास दुसरें जें चलन मिळतें त्यामुळें त्याचें खालीं पडणें पुष्कळ वेळां स्पष्ट समजत नाहीं.

सारांश ढग हे वाफेचे बनलेले नसतात. ढग हा पाण्याच्या सूक्ष्मकणांचा समुदाय असून धुळीचे रजःकण जसे हवेंतून पडतात, त्याप्रमाणें तो सावकाश खालीं पडत असतो. धुकें ढगाच्या जातीचेंच असतें. आलीकडे असें आढळलें आहे कीं, धुकें बनण्यास हवेमध्यें पुष्कळ सूक्ष्मकण पसरलेले असावे लागतात. हे कण पाण्याच्या सूक्ष्मकणांस आधारभूत होतात. उंच प्रदेशीं जे ढग बनतात, त्यांसही अशा कणांची आवश्यकता आहे कीं काय हें निश्चयात्मक सांगतां येत नाहीं. परंतु फार करून असावी असें दिसतें.

१८८. ढगांची उत्पत्ति—ढगांच्या उत्पत्तीचें साधारण कारण म्हटलें म्हणजे जास्त कमी आर्द्र हवेचें उंचप्रदेशीं जाणें आणि तेथें दंव पडण्याच्या उष्णमानापेक्षां तिचें शीत होणें हें होय. उंच प्रदेशीं शीत होण्याचीं अनेक कारणें आहेत.

(१) उंच प्रदेशाच्या थंड हवेशीं खालून चढलेली हवा मिसळते. (२) त्या ठिकाणीं तिच्या उष्णतेचें अबाधित विसर्जन चालतें. याविषयीं प्रकरण १२ यांत स्पष्टीकरण केलें आहे. (३) जशी हवा वर जाते, त्याप्रमाणें तिजवरील दाब कमी होत गेल्यानें ती प्रसरण पावते; व प्रसरण पावण्यांत तिजमधील उष्णता खर्च होते; कारण प्रसरण पावण्यांत तिला सभोंवतालच्या हवेस दूर लोटण्याचें काम करावें लागतें.

ढगांचीं शिखरें—आर्द्र हवेच्या ऊर्ध्वगामी स्तंभाच्या माथ्यावर या प्रकारच्या

ढगांचा समुदाय असतो. या समुदायाचा तळ स्पष्ट दिसतो, व त्या ठिकाणींच आर्द्र हवेचें उष्णमान दंवाच्या बिंदूखालीं म्हणजे त्याहून कमी असतें. म्हणजे किती उंचीवर दंवाच्या बिंदूहून कमी उष्णमान असतें, हें यावरून समजतें. या समुदायाच्या गोल आकारावरून हवा उष्ण प्रदेशीं कशी फेंकली जाते, आणि दोहों बाजूंस कशी पडते, हें दिसून येतें.

पर्वतावरील ढग—जमिनीवरून, तळ्यांवरून, व नद्यांवरून वाहणारा जास्तकमी आर्द्र असा वारा पर्वताच्या बाजूवर थडकला, म्हणजे तेथून वर उंच प्रदेशाच्या हवेंत फेंकला जातो: त्या ठिकाणीं तो शीत होतो, आणि त्याचे ढग बनतात. हे ढग पर्वताच्या शिखरावर लोंबत असलेले दिसतात. याशिवाय पर्वतावर ढग बनण्यास दुसरींही कारणें आहेत. तीं मुख्यत्वेंकरून विसर्जनावर अवलंबून असतात. जेव्हां सूर्य मावळतो, तेव्हां पर्वताच्या शिखरांपासून (तेथील हवेच्या कोरडेपणामुळें) अबाधित विसर्जन चालून तीं शिखरें शीत होतात, आणि यामुळें त्यांच्या सन्निध जी हवा असते, तिजमधील वाफ थिजते. याप्रमाणें सायंकाळच्या सुमारास सूर्याचा ताप कमी झाला म्हणजे पर्वताच्या माथ्यावर ढगांचीं आच्छादनें बनतात.

१८९. **पाण्याच्या प्रवाहांवरील धुकें**—प्रवाहावर दोन भिन्न कारणांनीं धुकें उत्पन्न होतें. उन्हाळ्यांत सायंकाळीं जमीन विसर्जनानें जलदी थंड होतें, परंतु पाणी थंड न होतां तिच्याहून गरम राहतें; यामुळें त्यावरची हवा गरम होऊन वाफेनें परिप्लुत होते. जशी ही हवा वर जाते, व थंड हवेंत मिसळते, त्याप्रमाणें धुकें बनतें, व तें प्रवाहावर लोंबत राहतें.

ग्लेसिअरचा म्हणजे बर्फांचा प्रवाह त्या सभोंवतालच्या हवेंहून थंड असतो आणि त्या सन्निधच्या हवेस शीत करून त्यांतील वाफेस थिजवितो आणि धुकें त्यावर बनतें.

१९०. **निरनिराळ्या उष्णमानाच्या वाफेनें भरलेल्या वाऱ्यांचें मिसळणें**—खालीं लिहिल्या रीतीनें पुष्कळ ढग बनतात. निरनिराळ्या उष्णमानांवर हवेस परिप्लुत करण्यास ज्या वजनाचें पाणी लागतें, त्याचें कोष्टक पाहिल्यास खालील गोष्टी स्पष्ट समजतील.

जर आपण हवेचें उष्णमान क्रमाक्रमानें वाढवीत गेलों, तर तिला वाफेनें परिप्लुत ठेवण्यास अधिकाधिक वजनाचें पाणी लागत जाईल. उदाहरण घेतल्यानें स्पष्ट समजेल.

समजा कीं, १०°श. उष्णमानावर हवा वाफेनें परिप्लुत आहे. जर तिचें उष्णमान ११° केलें तर तिला वाफेनें परिप्लुत ठेवण्यास जास्त वजनाचें पाणी लागेल. तें $म_1$ असें समजूं. जर तिचें उष्णमान १२° केलें, तर तिला परिप्लुत ठेवण्यास आणखी $म_2$ वजनाचें पाणी लागेल. जर उष्णमान १३°श. केलें, तर आणखी $म_3$ वजनाचें पाणी लागेल. याचा अर्थ हा कीं, $म_3 > म_2$, व $म_2 > म_1$, आणि याप्रमाणें जास्त उष्णमानांविषयींही समजावें.

आतां जर १२°श वर परिप्लुत असलेल्या हवेचें उष्णमान ११°श. केलें, तर तिच्यांतील $म_2$ वजनाचें पाणी थिजेल. कारण तिनें आरंभीं इतकें जास्त पाणी शोषण केलें होतें.

सारख्या वजनाच्या हवेचे दोन समुदाय अनुक्रमें १२° श. व १०° श. वर वाफेनें परिप्लुत आहेत. हे दोन एकत्र येऊन परस्परांत मिसळतात, आणि अखेर त्यांचें उष्णमान ११° श. होतें, म्हणून जो समुदाय १२° श. उष्णमानावर परिप्लुत होता, तो आपल्यांतील $म_2$ वजनाचें पाणी बाहेर टाकील. कारण १०° श. उष्णमानाची हवा $म_1$ पाणी शोषण करील. $म_2 > म_1$ म्हणून हें उघड आहे कीं $म_1$ पेक्षां जितकें जास्त पाणी $म_2$ मध्यें होतें, तितकें थिजून त्याचा ढग बनेल.

परिप्लुत करण्यास लागणारें पाणी उष्णमानापेक्षां अधिक प्रमाणानें वाढत जातें. यावरून असें अनुमान होतें कीं जेव्हां जेव्हां भिन्नभिन्न उष्णमानाच्या परिप्लुत हवेचे दोन समुदाय परस्पर एकत्र येऊन मिळतात, तेव्हां ढग किंवा धुकें बनतें.

प्रकरण ९ यावरील प्रश्न.

१. थंड विहिरींतून काढलेल्या पाण्याच्या भांड्याच्या बाहेरच्या बाजूवर दंव पडतो याचें कारण काय?

२. सोमवारीं कोरड्या बोंडाच्या उष्णमापकाचें उष्णमान १६° श. आणि ओल्या बोंडाचें उष्णमान १५°श. अशीं आहेत; आणि मंगळवारीं अनुक्रमें १६° श. व १४.८° श. आहेत तर यावरून तुम्ही काय अनुमान काढाल?

३. यंत्रशाळेंतील हवेचें उष्णमान पाहिलें, तें २४° श. होतें. दंवाचा बिंदु १३° श. होता. तर पृष्ठ १६५ यांत दिलेल्या कोष्टकावरून हवेची आर्द्रता काढा.

४. दंवाचा बिंदु १२° श. आणि खोलीचें उष्णमान १६.५° श. आहेत. तर खोलीची आर्द्रता काढा.

५. खोलीचें उष्णमान १५° श. आहे, आणि दंवाचा बिंदु १०° श. आहे; जेव्हां हवा परिप्लुत असते, तेव्हां तिजमधील वाफ १००० असते, असें कल्पून या वेळीं खोलीच्या आर्द्रतेचें मान काढा.

६. नेहमीं नैर्ऋत्य दिशेच्या वाऱ्याबरोबर पाऊस येतो, याचें कारण काय? पूर्वेचा वारा कां रूक्ष असतो?

०°श. पासून ३०°श. पर्यंत प्रत्येक अंशावरील परमदार्ढ्यांच्या वाफेच्या जोराचें कोष्टक.

शतभाग उष्णमान.	पाण्याच्या वाफेचा परमावधीचा जोर. (सहस्रांशमात्रा).	शतभाग उष्णमान.	पाण्याच्या वाफेचा परमावधीचा जोर. (सहस्रांशमात्रा).
०	४.६००	१६	१३.५३६
१	४.९४०	१७	१४.४२१
२	५.३०२	१८	१५.३५७
३	५.६८७	१९	१६.३४६
४	६.०९७	२०	१७.३९१
५	६.५३४	२१	१८.४९५
६	६.९९८	२२	१९.६५९
७	७.४९२	२३	२०.८८८
८	८.०१७	२४	२२.१८४
९	८.५७४	२५	२३.५५०
१०	९.१६५	२६	२४.९८८
११	९.७९२	२७	२६.५०५
१२	१०.४५७	२८	२८.१०१
१३	११.१६२	२९	२९.७८२
१४	११.९०८	३०	३१.५४८
१५	१२.६९९		

प्रकरण १०.

वहन.

वहन—**प्रापणानें** पदार्थांत उष्णतेचा संचार कसा होतो हें आपण मागें पाहिलें. या रीतींत जे प्रवाही किंवा वायूचे भाग उष्ण झाले, तेच चलन पावून दुसऱ्या ठिकाणीं गेले; ह्मणून वास्तवीक उष्णतेच्या चलनापेक्षां उष्ण झालेल्या द्रवाचें किंवा वायूचें चलन असें त्यास म्हणणें अधिक प्रशस्त होय.

अगदीं रित्या जाग्यांतून किंवा एखाद्या वायूंतून त्यास उष्ण न करितां **किरण विसर्जनानें** उष्णता एका पदार्थांतून दुसऱ्या पदार्थांत अत्यंत वेगानें कशी जाते याविषयीं **विचार प्रकरण १२** यांत करण्यांत येईल.

प्रापणाप्रमाणें पदार्थांचे भाग आपली जागा न बदलतां त्यांत उष्णतेचा संचार **कसा होतो**, याविषयीं विचार या प्रकरणांत केला आहे. यांत ज्या अवकाशांतून उष्णता जाते, त्याचा तिशीं निकट संबंध असतो. यांत पदार्थाच्या एका भागापासून दुसऱ्या भागास उष्णता पोंचते. म्हणजे प्रत्येक भाग उष्ण झाला म्हणजे तो आपल्या जवळच्या भागास उष्ण करितो; आणि याप्रमाणें पुढें क्रिया चालते. उष्णता पसरण्याची जी ही रीति ती सर्वांच्या परिचयांतली आहे, व हिला **वहन** असें ह्मणतात.

प्रयोग—एक लांब धातूची कांब घेऊन तिला सारख्या अंतरावर खळगे पाडून त्यांत पारा भरावा. नंतर त्यांत लहान लहान उष्णमापकें धरिलीं, आणि कांबीचें **एक टोंक** उष्ण केलें तर उष्णता कांबींतून कशी वाहते, हें उष्णमापकावरून स्पष्ट **समजतें**. किंवा त्या खळग्यांत फास्फरसाचे तुकडे घातल्यानेंही ते एका मागून एक पेटतात, त्यावरून उष्णता कशी वहात जाते हें अनुभवास येतें.

१९२. **शीघ्रवाहक व मंदवाहक**.—पदार्थांच्या वाहक शक्ति भिन्नभिन्न असतात, हें नेहमींच्या अनुभवावरून आपणास समजतें.

(१) **शीघ्रवाहक**—गरम चहांत रुप्याचा चमचा घातल्यानें त्याचा दांडा उष्ण होतो. रुप्याच्या चहादाणीस उचलण्यास लांकडी मूठ असावी लागते. किंवा चहादाणी व मूठ ह्यांच्यामध्यें हस्तिदंती तुकडा तरी बसवावा लागतो. ह्या व असल्या दुसऱ्या प्रयोगांवरून आपणास समजतें कीं, धातु हे शीघ्रवाहक आहेत. तसेंच हिंवाळ्यांत धातूंस स्पर्श केला असतां ते फार थंड लागतात. कारण हातांतील उष्णता वहनानें धातूंत जाते; आणि जरी आपण तुर्क लोकांच्या स्नान करण्याच्या अत्यंत गरम खोलींत असलों, तरी तेथें धातूस स्पर्श केला असतां इजा होईल. कारण त्या ठिकाणीं धातूंतील उष्णता वहनानें तत्काळ हातांत येते.

(२) मंदवाहक—गरम पाण्याचीं भांडीं उचलण्यास लांकडी तुकडे घेतों: व चहा-दाणीस व डांक घालण्याच्या लोखंडी कांबीस लांकडी मुठी बसवितों. या ठिकाणीं आपण पदार्थांच्या मंदवाहकत्वाचा उपयोग करितों. तसेंच वापरण्यास फलानीन कपड्याचा उपयोग करितों. थंड देशांत बुटास बुचाच्या लांकडाचे तळवे घालितात. फलानीन, बुरणूस, भुसा किंवा गवत यांत बर्फ बांधितात; आणि बर्फाच्या घरांत बर्फावर गवत पसरून त्याचा बचाव करितात. या सर्व गोष्टींत फलानीन, गवत वगैरे यांच्या मंदवाहकत्वाचा उपयोग करितात. परंतु सर्व पदार्थांत वायु हे अत्यंत मंदवाहक आहेत. या पदार्थांचे कण एकमेकांपासून इतके दूर आणि परस्परांपासून इतके स्वतंत्र असतात कीं, त्यांच्यानें उष्णतेस एका कणापासून दुसऱ्या कणास पोहोंचवत नाहीं.

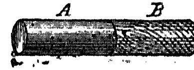
ज्या मध्यें पुष्कळ हवा आहे अशा लोंकर, पर, पिसें, अशा पदार्थांचा शरीराच्छादनास उपयोग करितात, तेव्हांही वायूच्या मंदवाहकत्वाचा उपयोग करितात. इडर या प्राण्याच्या लोंकरीच्या रजई असतात, त्यांस हवेच्या रजई असें म्हणण्यास हरकत नसते. त्यांची मुख्य मातबरी त्यांत जी हवा असते, तिजवर अवलंबून असते.

साधारणतः वायूचें मंदवाहकत्व उष्णतेनें त्यामध्यें जो प्रापणव्यापार सुरू होतो, त्यामुळें दृष्टोत्पत्तीस येत नाहीं. परंतु जेव्हां लोंकर किंवा पिसें यांच्या कणांमध्यें हवा किंवा दुसरा वायु संलग्न झालेला असतो, तेव्हां प्रापणव्यापार बंद पडतो, आणि त्याची मंदवाहकत्व शक्ति पूर्णपणें अनुभवास येते.

नार्वे लोकांची चूल ही बुरणुसानें आंतून मढविलेली एक पेटी असते. तिजमध्यें बरोबर बसणारीं अशीं अर्धवट शिजलेल्या पदार्थांचीं भांडीं विस्तवावरून काढून बसवितात. सभोंवतालच्या बुरणुसाच्या मंदवाहकत्वामुळें भांडें गरम राहतें, आणि विस्तवावरून काढल्यावर शिजण्याची क्रिया तशीच पुढें चालते.

प्रयोग—शीघ्रवाहक आणि मंदवाहक यांस एके ठिकाणीं उष्णता लाविली असतां ती त्यांतून जलद व सावकाश कशी वाहते, हें पुढील प्रयोगावरून ध्यानांत येईल.

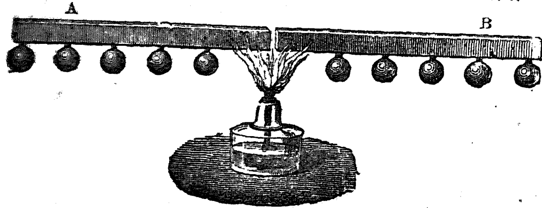
(१). A B हा एक रूळ आहे; त्याचा A भाग पितळेचा व B भाग लांकडाचा आहे. यावर कागदाचा तुकडा गच्च गुंडाळलेला आहे. यास ज्योतींत धरिलें असतां धातूस ज्या ठिकाणीं उष्णता लाविली असेल तेथून सर्व कणांत उष्णता वाहते, आणि धातूचा सर्व भाग बराच गरम होतो. यास्तव उष्णता धातूंत पसरत असल्यानें कागद जळत नाहीं. (आ. ९६ पहा) परंतु लांकडास ज्या ठिकाणीं उष्णता लागत असेल, तेथून दुसऱ्या कणांत वाहत नाहीं. आणि त्याचा विस्तवावरचा भाग खूप गरम होतो. आणि बाकी थंड राहतो. ह्मणून B वरचा कागद जळतो.



आकृति ९६ वी.

१९३. **वाहकत्वाची तुलना करण्याचे स्थूल प्रयोग**—पुढील प्रयोगांवरून कित्येक धातु व दुसरे घन पदार्थ यांची अन्योन्य वाहक शक्ति पाहतां येते. परंतु प्रत्येकाची वाहक शक्ति किती आहे, हें सूक्ष्म मानानें या प्रयोगांवरून समजत नाहीं असें सहजीं लक्षांत येईल.

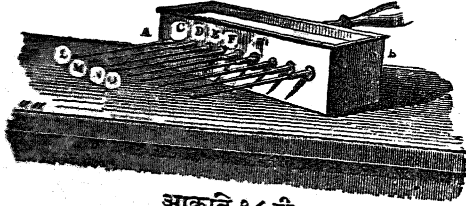
प्रयोग—A आणि B या दोन अनुक्रमें तांबें व लोखंड यांच्या कांबी आहेत. यांस



आकृति १७ वी.

आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें जोडून त्यांची एकच कांब केलेली आहे. (आ. १७ पहा. प्रत्येक कांबीच्या खालच्या बाजूस सांध्यापासून सारख्या अंतरावर वाटाणे मेणानें चिकटविले आहेत. या संयुक्त कांबीच्या जोडाखालीं दिवा ठेवून त्यांस उष्ण करितों) त्याप्रमाणें उष्णता कांबींतून वाहात जाते, त्याप्रमाणें मेण वितळून वाटाणे पडतात. त्यांच्या पडण्यावरून लोखंडापेक्षां तांब्यांतून उष्णता जलद वाहते, हें समजतें.

(२) **इंजेनहौस याचें यंत्र**—A B ही एक कथिलाच्या पत्र्याची पेटी आहे,

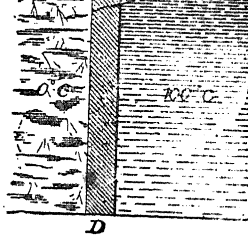


आकृति १८ वी.

तिच्या एका बाजूंत C D E F हे आंखूड नळ्यांचे तुकडे बसविलेले आहेत. (आ. १८ पहा) यांमध्यें बुचाच्या योगानें I M N O या निरनिराळ्या पदार्थांच्या कांबी बसविलेल्या आहेत. या कांबी सारख्या लांबीच्या व जाडीच्या असून बुचांतून सर्वांचे सारखे भाग पेटीच्या आंत गेलेले असावे, याविषयीं विशेष काळजी घेतली पाहिजे.

या रीतीनें अगदीं स्थूल प्रयोग करणें झाल्यास प्रत्येक कांबीच्या पेटीबाहेरच्या टोंकावर फास्फरसाचा तुकडा ठेवून पेटींत कढतें पाणी भरावें; आणि फास्फरस कोणत्या क्रमानें पेटतो, तें पाहावें. या दोन्ही प्रयोगांत कोणता फेरफार करून फार सूक्ष्ममानानें वाहकशक्ति पाहतां येते, हें पुढें एका प्रयोगांत दाखविलें आहे. तसेंच वरच्या प्रयोगांवरून वाहक शक्ति सूक्ष्ममानानें कां कळत नाहीं हेंही सांगण्यांत येईल.

हा एक चपटा पडदा आहे. समजा कीं, त्याची जाडी एक फूट आहे. त्याच्या एका बाजूस (बाहेरच्या) ०°श उष्णमानाचें बर्फ आहे, आणि आंतल्या बाजूस १००° श उष्णमानाचें पाणी आहे. (आ. ९९ पहा) याप्रमाणें पडद्याच्या दोहों बाजूंस पाणी व बर्फ ठेवून बराच वेळ वाट पाहिली, तर १००° श उष्णमानाच्या पाण्यांतून ०° श उष्णमानाच्या बर्फांत दर मिनिटास किंवा दर सेकंदास वाहणाऱ्या उष्णतेचें मान कांहीं वेळानें स्थिर होईल. म्हणजे दर मिनिटास किंवा दर सेकंदास पाण्यांतून नियमित उष्णता जाऊन दर मिनिटांत किंवा सेकंदांत नियमित बर्फ वितळेल. एक चौरस फूट क्षेत्राच्या पडद्यांतून दर सेकंदांत जी उष्णता जाते, तिनें जास्त किंवा कमी बर्फ वितळणें हें पडद्याच्या द्रव्यावर अवलंबून राहील. म्हणजे जर तो शीघ्रवाहक द्रव्याचा असेल, तर जास्त बर्फ वितळेल; आणि मंदवाहक द्रव्याचा असेल तर थोडें बर्फ वितळेल.



आकृति ९९ वी.

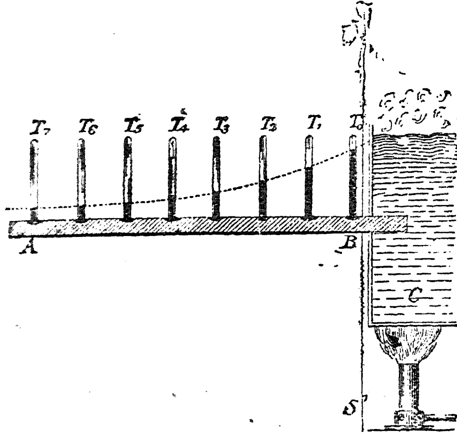
नियमित कालांत नियमित बर्फ वितळूं लागलें ह्मणजे आपणास दर सेकंदांत जें बर्फ वितळेल, त्यावरून पडद्याच्या द्रव्याची वाहक शक्ति मापितां येईल. बाकी सर्व गोष्टी अगदीं सारख्या ठेवण्याविषयीं मात्र खबरदारी घेतलेली आहे.

यास्तव जर क्षेत्र, जाडी, आणि दोहों बाजूंच्या उष्णमानांतील अंतर वगैरे दरवेळीं समान असतील तर उष्णता वाहण्याची स्थिरावस्था प्राप्त झाल्यानंतर दर सेकंदांत विवक्षित पदार्थांतून जी उष्णता जाईल, तिजवरून त्याची वाहक शक्ति आपणास मापितां येईल.

१९५. **वाहकत्व मापण्याची फार्बीज याची रीति.**—A B ही एक धातूची कांब आहे. तिचें एक शेवट कढतें पाणी असलेल्या C भांड्याच्या बाजूंन बसविलेलें आहे. S S हा चकचकीत कथलाच्या पत्र्याचा पडदा आहे. याच्या योगानें कढत पाण्याचें कार्य C भांड्यांतील कांबीच्या शेवटावर मात्र घडतें; इतर भागावर घडत नाहीं. कांबीस सारख्या अंतरावर भोंकें पाडून त्यांत पारा भरलेला आहे, व त्यांत अगदीं एकाच जातीचीं T_0, T_1, T_2, T_3, T_4, . . . T_7, हीं उष्णमापकें ठेविलीं आहेत. (आ. १०० पहा) B शेवटापासून A शेवटाकडे उष्णमान कमी होत जाईल; आणि उष्णमापकांतील पारा क्रमानें खालीं गेलेला दिसेल. कांब इतकी लांब असावी कीं, तिजवरील शेवटलीं दोन उष्णमापकें सारख्या उष्णमानावर म्हणजे हवेच्या उष्णमानावर असावीं. B पासून A कडे उष्णमान कमी होत जाण्याचें कारण असें आहे कीं, कांबीपासून विसर्जनानें आणि प्रापणानें उष्णता बाहेर जात असते.

15

आतां आपण जर निरनिराळ्या धातूंच्या पण सारख्या जाडीच्या कांबी घेतल्या, आणि



आकृति १०० वी.

सर्वांवर रुप्याच्या मुलाम्याचें पातळ आच्छादन दिलें, तर सर्वांचे पृष्ठभाग एकसारखे झाल्यामुळें सर्वांमधून सारख्या मानाची उष्णता विसर्जनानें व प्रापणानें जाईल. म्हणून उष्णमापकांतील पाऱ्याच्या स्तंभांचीं शिखरें सांधिलीं आणि रेषा काढिली तर ती वक्ररेषा B पासून A कडे उष्णमान कसें कमी होत गेलें आहे, हें दर्शवील. निरनिराळ्या द्रव्यांच्या कांबीच्या भिन्नवाहकत्वाप्रमाणें या वक्ररेषेचा आकार बदलेल. कारण बाकी सर्व गोष्टी सर्व कांबींस सारख्या लागू आहेत.

अशा रीतीनें काढलेल्या वक्ररेषांवरून धातूंची वाहक शक्ति मापितां येईल.

प्रयोग—असलें यंत्र सहज करून फार्बास याची रीति दाखवितां येईल.

१९६. **इंजेनहौस याचें अधिक सूक्ष्ममानानें उपयोग करितां येणारें यंत्र.**—कलम १९२ यामधील दोन्ही प्रयोगांत कोणते दोष होते, हें आतां आपणास समजेल. त्या ठिकाणीं कांबीस उष्णमानाच्या संबंधानें स्थिर अवस्था प्राप्त होण्याची वाट न पाहतां कोणत्या कांबीवरून जलद उष्णता गेली एवढेंच पाहिलें. यामुळें कशी चूक होण्याचा संभव असतो, हें पुढील प्रकरणांत सांगितलें आहे. येथें एक व्यवहारांतलें उदाहरण घेऊं, म्हणजे कांहीं लक्षांत येईल. समजा कीं, दोन आगगाडीच्या कंपन्या उभारत आहेत, आणि यांपैकीं कोणती कंपनी उतारू नेण्यास चांगली सोयीवार आहे, हें पाहण्याची आपली इच्छा आहे. तर ज्या कंपनीनें विवक्षित तारखेपर्यंत खूब उतारू नेले तीच चांगली असें एकदम ह्मणतां येणार नाहीं. कारण तिच्या व्यवस्थेंत कदाचित् लवकरच घोंटाळा उत्पन्न होईल. यास्तव दोन्ही कंपन्या बरेच दिवसपर्यंत बरोबरीनें काम करूं लागेपर्यंत वाट पाहिली पाहिजे; आणि नंतर कोणती कंपनी

इतक्या लांब असाव्या कीं, त्यांचीं बाहेरील शेवटें हवेच्या उष्णमानावरच राहावीं. प्रत्येकीवर रूप्याच्या मुलाम्याचा पातळ थर चढवावा. आणि नंतर तिजवर मेण सारवावें, आणि जास्त फेरफार होण्याचें बंद होईपर्यंत वाट पाहावी; आणि नंतर कोणत्या कांबीवरील मेण अधिक लांब पर्यंत वितळत गेलें आहे हें पाहावें. या ठिकाणीं प्रत्येक कांबींतून विसर्जनानें व प्रापणानें सारखी उष्णता जाते, आणि उष्णतेच्या वहनास कायमपणाही आणिला आहे. म्हणून कांबींतून उष्णता वाहून जें मेण वितळलें तें कांबीच्या वाहकत्वावर अवलंबून असलें पाहिजे.

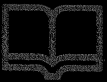
प्रयोग—रूप्याचा मुलामा करण्याचें गाळलें, तर हा प्रयोग सहजीं करितां येईल.

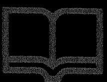
१९७. **द्रव आणि वायु**.—बहुतेक द्रव मंदवाहक आहेत. त्यांची वाहकशक्ति काढण्यास जे प्रयोग करितां येतात, ते सर्व निरूपयोगी असतात. कारण त्यांच्यामधील प्रापण बंद करितां येत नाहीं; आणि तें कदाचित् बंद करितां आलें तरी त्यांमध्यें उष्णता पसरते. प्रकरण ३ कलम ६३ प्रयोग २ यांत द्रवाची वाहकशक्ति काढण्याची रीति दाखविली आहे. परंतु या रीतीनें सुद्धां जी द्रवाची वाहकशक्ति कळते, ती घनपदार्थांच्या वाहक शक्तीसारखी केवळ वाहकशक्ति नसते. तर उष्णतेचें प्रसरण होऊन तींत फेरफार झालेला असतो.

वायूची वाहकशक्ति याहून कमी असते. त्याविषयींचे प्रयोग करणें याहून कठीण असतें. व ते कधीं समाधानकारक नसतात.

टीप—उष्ण आणि थंड पाणी, गोडें व खारें पाणी, निरनिराळ्या दार्थांचे वायु यांस हलका द्रव किंवा वायु वर आणि जड द्रव किंवा वायु खालीं याप्रमाणें एकत्र मिसळलें तर गुरूत्वाकर्षणास न जुमानतां कांहीं काळ गेल्यावर ते परस्परांत मिसळतात; आणि या वेळीं कोणतेही प्रवाह त्यांत दृष्टोत्पत्तीस येत नाहींत. प्रकरण ७ यांत सांगितल्यासारखी त्यांच्या कणांस जी गति मिळते तिजमुळें असे ते मिसळतात, व यासच **अभिसरण** असें म्हणतात.

१९८. **वाहकशक्तीची अगदीं बरोबर व्याख्या**.—कलम १९४ यांत पडद्याची जाडी ज असली, आणि ज्या क्षेत्रांतून उष्णता वाहात आहे तें क्षेत्र क्ष असलें, दोहीं बाजूंचीं उष्णमानें अनुक्रमें $उ^\circ_2$ श आणि $उ^\circ_1$ श असलीं, आणि दर सेकंदांत वाहाणाऱ्या उष्णतेचें परिमाण प समजलें, तर असें फार संभवनीय दिसतें कीं प परिमाणाची उष्णता $उ^\circ_2$ व $उ^\circ_1$ या दोहीं उष्णमानांच्या अंतराच्या ($उ_2 - उ_1$) प्रमाणांत असावी, व ती जाडीच्या उलट प्रमाणांत असावी. आणि ती क्ष क्षेत्राच्या सरळ प्रमाणांत असावी हें तर उघड दिसतें. परंतु ही गोष्ट खरी आहे किंवा नाहीं याची प्रचीति प्रत्यक्ष प्रयोगानें घ्यावी.





$$\therefore \text{प} \propto \frac{\text{उ}_2 - \text{उ}_1}{\text{ज}} \times \text{क्ष}.$$

$$\text{किंवा प} = \frac{\text{न क्ष}(\text{उ}_2 - \text{उ}_1)}{\text{ज}}.$$

आतां यांतील न ही संख्या काय आहे तें पाहूं. ती खचीत पदार्थाच्या धर्मावर, म्हणजे त्याच्या वाहकशक्तीवर मात्र अवलंबून असली पाहिजे. जर असें आपण कल्पिलें कीं, क्ष=१ चौरसफूट; ज=१ फूट; ($\text{उ}_2 - \text{उ}_1$)=१°श; तर वरील सारणीवरून प=न असें निघतें. याचा अर्थ असा कीं, एका सेकंदांत एक फूट जाडीच्या एक चौरस फूट जाग्यांतून दोहों बाजूंच्या उष्णमानांत १°श अंतर असतें तेव्हां न परिमाणाची उष्णता जाते. यास्तव स्वाभाविकच न ही वाहकशक्ति झाली. नची किंमत निरनिराळ्या पदार्थांकरितां निरनिराळी असेल.

टीप—असेंही आणखी आपणांस म्हटलें पाहिजे कीं, वहन स्थिर असलें पाहिजे म्हणजे सारखी उष्णता वाहूं लागली पाहिजे. आणि वाहक क्षेत्र पडद्याच्या मध्यें घेतलें पाहिजे; कडेस उपयोगी नाहीं. कारण तेणेंकरून उष्णतेचें वहन सरळ रेषेंत घडणार नाहीं.

११९. **डेव्हीचा रक्षक दिवा**—हा प्रसिद्ध खाणीवाल्यांचा जो दिवा त्याचें बीज वहनावर अवलंबून असतें. या दिव्याच्या योगानें शेंकडों खाणीवाल्यांचे जीव वांचतात; यास्तव याविषयीं विचार करून हें प्रकरण संपवूं. उडणारे वायु एकदम पेटून जे अनर्थ होतात; ते टाळण्याकरितां हा दिवा डेव्ही यानें शोधून काढिला.

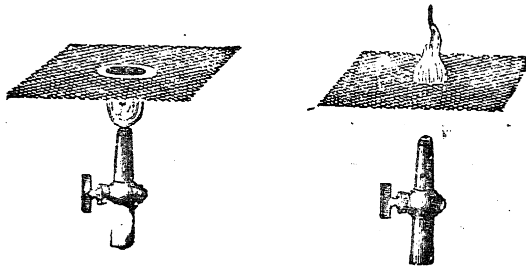
वायु पेटून उडतात व त्यापासून अनर्थ होतात त्यांचें स्वरूप—एकादा पेटणारा वायु आणि हवा यांचें खाणींत नेहमीं मिश्रण बनतें तसें मिश्रण झालें, आणि त्यास बत्ती लागली तर तें सर्व मिश्रण इतकें जलद पेटतें कीं, त्यापासून मोठा बार होऊन फार अनर्थ होतो.

सर्व मिश्रण खरोखर एकदम पेटत नाहीं. पेटण्यास हव्यातितक्या उष्णमानावर येण्याजोगा एक भाग उष्ण होतो व पेटतो. हा भाग शेजारच्या भागास पेटवितो. तो त्याच्या पलीकडच्या भागास याप्रमाणें सर्व मिश्रणांत उष्णता पसरते. याप्रमाणें उष्णता पसरत असतां जर त्या मिश्रणास कोणत्या तरी ठिकाणीं थंड केलें आणि त्यानें जवळच्या भागास उष्ण करितां आलें नाहीं तर मिश्रण पेटणार नाहीं.

ज्योतीवर तारांच्या जाळीचें कार्य—तारांच्या जाळींतून ज्योत जात असतां जाळीस तिला इतकें थंड करितां येतें कीं, ज्योत लागलीच विझते. ती जाळीच्या पलीकडे जाऊं शकत नाहीं व मिश्रण जाळीच्या दुसऱ्या बाजूस पेटत नाहीं. याप्रमाणें ज्या ठिकाणीं ज्योत जाळीस स्पर्श करिते, त्या ठिकाणची उष्णता ती शोषण करिते, व कांहीं अंशीं त्या उष्णतेस विसर्जनानें बाहेर टाकिते. याप्रमाणें दोन्ही रीतींनीं ज्योतीवर जाळीचें कार्य घडतें.

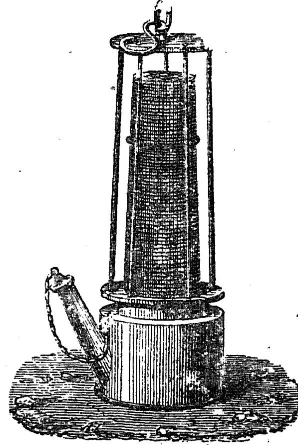
प्रयोग १.—बन्सेनचा धुराचा दिवा पेटवून किंवा मद्यार्कांचा दिवा पेटवून त्यावर जाळीचा तुकडा धरावा. त्यांतून ज्योत वर जाणार नाहीं. (जाळीस लाल भडक

खाली जाणार नाही. (आ. १०१ पहा)



आकृति १०१ वी.

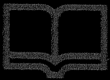
डेव्हीचा रक्षक दिवा.—हा दिवा लोखंड व पितळ या धातूंच्या तारांचा केलेला असतो. ज्योतीच्या सभोंवार जाळीचा पडदा असतो; व येणेंकरून ज्योत व बाहेरील हवा यांमध्यें आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें जाळी असते. (आ. १०२ पहा) ज्योतीच्या माथ्यावर दुहेरी जाळी असते. कारण या भागास अत्यंत उष्णता असते. वातीचा कोळी दिवा न उघडतां झाडतां येतो. ज्या ठिकाणीं खाणींतला पेटणारा वायु थोडा आहे, अशा ठिकाणीं हा दिवा नेला तर पिवळ्या ज्योतीवर निळ्या ज्योतीची टोपी दिसते. हवेंत ज्या मानानें हा पेटणारा वायु असेल, त्याप्रमाणें ही टोपीची उंची जास्त किंवा कमी असते. उष्ण न झालेल्या हवेंत जळण्याजोगा जरी तो पुष्कळ नसतो, तरी ज्योतीजवळच्या उष्ण झालेल्या हवेंत तो जळतो. म्हणून ही टोपी दिसते.



आकृति १०२ वी.

ज्याप्रमाणें या वायूचें मान वाढतें, त्याप्रमाणें या निळ्या टोपीचा आकारही वाढतो. जेव्हां तो वायु व हवा यांचें मिश्रण पेटविल्याबरोबर सर्व उडण्याजोगें असतें, तेव्हां जाळीची आंवली सर्व जागा निळ्या ज्योतीनें भरते. या वेळीं मात्र भय असतें. कारण जाळी लालभडक होऊन त्यांतून ज्योत बाहेर जाण्याचा संभव असतो.

या दिव्यांतील दोष—(१) एखाद्या वेळीं वाऱ्याचा झोत जाळीवर आला, किंवा





वाऱ्याच्या झोतानें आंतली ज्योत फार झोले खाऊं लागली ह्मणजे, किंवा असल्या दुसऱ्या कारणानें जाळींतून ज्योत बाहेर पडते.

(२) ज्या हवेंत हा वायु फार असेल, तेथें हा दिवा विझतो.

(३) अगदीं दिवा चांगला जळत असला तरी चांगला प्रकाश पडत नाहीं.

खाणींत असलेला वायु पेटून व त्यापासून मोठे बार होऊन जे अनर्थ होतात, त्याविषयीं जास्त विचार करणें फायदेशीर होईल. परंतु तेणेंकरून विषयांतर होईल.

प्रकरण १० यावर प्रश्न.

(१) शीतकटिबंधांतील प्रदेशांत धातूचीं भांडीं हातांत खेळवितांना जाड लोकरी हातमोजे घालावे लागतात. नाहीं तर हातास फोड येऊन मोठी दुखापत होते; याचें कारण काय तें सांग.

(२) कलम १९४ यांत सांगितल्यासारख्या प्रयोगांत विवक्षित द्रव्याचा पडदा दिला तेव्हां त्यांतून जी उष्णता वाहिली तिणें दर मिनिटास २३ पौंड बर्फ वितळलें. दुसऱ्या द्रव्याचा पडदा घेतला तेव्हां दर मिनिटास १ औंस बर्फ वितळलें. दोहों पडद्यांची जाडी, क्षेत्र व उष्णमानांमधील अंतर वगैरे सर्व गोष्टी समान आहेत. तर दोहों द्रव्यांच्या वाहकत्वांमधील प्रमाण काढ.

(३) याच जातीच्या एका प्रयोगांत पडद्याचें क्षेत्र ३ चौरस फूट आहे; आणि दर मिनिटास २ औंस बर्फ वितळतें. दुसऱ्या एका पडद्याचें क्षेत्र २ चौरस फूट असून दर ५ मिनिटांत ३ औंस बर्फ वितळतें. दोहोंत बाकी सर्व गोष्टी समान आहेत. तर दोहोंच्या वाहकत्वांची तुलना कर.

(४) बर्फाची अनुप्त उष्णता ८० आहे असें घेऊन खालीं दिलेल्या गोष्टींवरून द्रव्याची वाहकशक्ति काढः—दोहों बाजूंच्या उष्णमानांमधील अंतर १००° आहे, पडद्याची जाडी २ फूट आहे; पडद्याचें क्षेत्र ३ चौरस फूट आहे; दर सेकंडांत $\frac{१}{२०}$ पौंड बर्फ वितळतें. उष्णता मापण्याचें प्रमाण १९५ कलमांत दिलें आहे तेंच घ्यावयाचें आणि लांबीचें प्रमाण फूट घ्यावयाचें.

(५) पडद्याची जाडी १ फूट ८ इंच, क्षेत्र १२२ चौरस इंच असून दर $१\frac{१}{२}$ मिनिटांत २ औंस बर्फ वितळत आहे. बाकी सर्व गोष्टी वरच्या उदाहरणाप्रमाणें असतील तर वाहकत्व काढ.

(६) साधारण नियम असा आहे कीं घनपदार्थ उष्णतेचे उत्तम वाहक असतात. द्रवरूपी पदार्थ त्यांहून वाईट वाहक असतात आणि वायुरूपी पदार्थ सर्वांत निकृष्ट वाहक असतात. पदार्थांच्या घटनेविषयीं जें तुह्मास माहीत आहे त्यावरून असें अनुमान तुह्मांस एकदम काढितां आलें असतें काय? तें सकारण सांगा. वायु चांगले ध्वनिवाहक असतात; परंतु निकृष्ट उष्णतावाहक असतात. याचेंही सकारण स्पष्टीकरण करा.

(७) पुस्तकांत सांगितलीं आहेत त्यांशिवाय पदार्थांच्या सुवाहकत्वाच्या व निकृष्ट वाहकत्वाच्या उपयोगाचीं व्यवहारांतील कांहीं उदाहरणें सांगा.

विशिष्टउष्णता.

२०० **'विशिष्ट उष्णता' याचा अर्थ.**—आम्ही पूर्वी सांगितलें आहे कीं, पाण्याचें वजन आणि त्याचें जितके अंश उष्णमान चढविलें असेल ते अंश, या दोहोंवरून उष्णतेचें परिमाण मापितां येतें. एक पौंड पाण्याचें १°श उष्णमान चढविण्यास जी उष्णता लागते ती प्रमाणभूत कल्पून तिला एक अंश उष्णता असें नांव दिलें आहे. म्हणून विवक्षित वजनाच्या पाण्याचें उष्णमान १°श चढविण्यास जी उष्णता लागेल, ती पाण्याच्या पौंडाच्या संख्येवरून मापितां येईल. उष्णता मापण्यास केवळ सोईकरितां पाणीच घेतलें आहे. परंतु कोणी असा प्रश्न करितील कीं, एक पौंड पाण्याच्या जागीं एक पौंड शिसें घेतलें, तर चालेल किंवा नाहीं? प्रत्यक्ष प्रयोग करून पाहूं. म्हणजे याचें उत्तर सहजी देतां येईल. तथापि हें पूर्वीच सांगून ठेवितों कीं, "निरनिराळे पदार्थ एकेक पौंड वजनाचे घेतले, तर त्यांचें १°श उष्णमान चढविण्यास निरनिराळ्या मानानें उष्णता लागते."

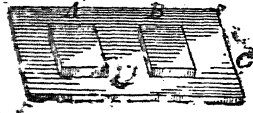
विवक्षित वजनाच्या कोणत्याही पदार्थाचें विवक्षित उष्णमान चढविण्यास जी उष्णता लागते, त्याहून तेवढ्याच वजनाच्या पाण्याचें तेवढेंच उष्णमान चढविण्यास जास्त उष्णता लागते. म्हणून जर १ पौंड पाण्याचें उष्णमान १° श चढविण्यास जी उष्णता लागते ती प्रमाणभूत कल्पिली, आणि तिला एक अंश असें नांव दिलें, तर एक पौंड वजनाच्या दुसऱ्या कोणत्याही पदार्थाचें १°श उष्णमान चढविण्यास जी उष्णता लागेल, ती एक अंशाहून कमी असेल. म्हणजे ती एकाचा कोणता तरी भाग असेल. व तो भाग सम अपूर्णांक असेल. या अपूर्णांकास विशिष्ट उष्णता असें म्हणतात.

उदाहरण—विशिष्ट उष्णतेच्या कोष्टकांत बिस्मथ धातूची विशिष्ट उष्णता .०३ किंवा $\frac{3}{100}$ किंवा जवळ जवळ $\frac{1}{33}$ दिलेली आहे. याचा अर्थ असा कीं, एक पौंड बिस्मथ धातूचें १°श उष्णमान वाढविण्यास जी उष्णता लागेल, त्या उष्णतेनें $\frac{1}{33}$ पौंड पाण्याचें मात्र १°श उष्णमान वाढवितां येईल.

२०१. **भिन्नभिन्न पदार्थांची विशिष्ट उष्णता भिन्नभिन्न असते हें दाखविण्याकरितां प्रयोग.**—विशिष्ट उष्णता कशी मापावी, याचा विचार करण्यापूर्वी भिन्नभिन्न पदार्थांच्या विशिष्ट उष्णता भिन्नभिन्न असतात, हें स्थूल मानानें दाखविण्यासाठीं कांहीं प्रयोग करूं.

प्रयोग १–(A) आणि (B) हे बिस्मथ व लोखंड या दोन धातूंचे चौकोनी तुकडे आहेत; त्यांचा आकार व आकारमान अगदीं समान आहेत; प्रत्येकाच्या वरच्या पृष्ठभागार मेण सारविलें आहे.

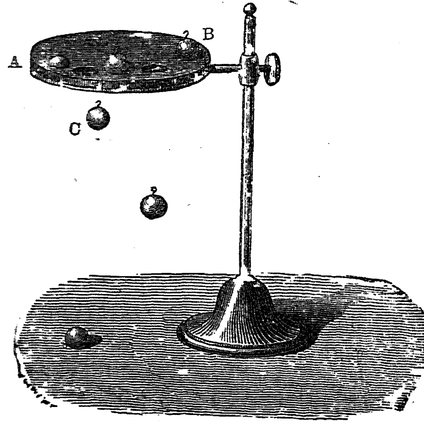
C C हा एक तांब्याचा पत्रा आहे, व त्यास सर्वत्र भागीं सारखें उष्ण केलें आहे. (आ. १०३ पहा). यावर एकदांच हे दोन्ही तुकडे जवळ जवळ ठेविले, तर बिस्मथच्या तुकड्यावरचें मेण प्रथम वितळतें. यावरून बिस्मथ याची विशिष्ट उष्णता लोखंडाहून कमी आहे हें उघड झालें. तथापि दोहीं तुकड्यांस



आकृति १०३ वी.

सारख्या उष्णमानावर आणून त्यांच्या उष्णमानांची स्थिरावस्था झाली म्हणजे जर प्रत्येकावर मेणाच्या गोळ्या ठेविल्या, तर लोखंडावरील गोळ्या लवकर वितळतील. कारण लोखंड हा धातु बिस्मथपेक्षां शीघ्रवाहक आहे. परंतु या वेळीं बिस्मथ याची विशिष्ट उष्णता फार कमी असल्यानें त्यास पत्र्याचें उष्णमान लवकर आलें, व त्यांतून लवकर उष्णता वाहूं लागली. या प्रयोगावरून हेंही लक्षांत येतें कीं, दोन पदार्थांनें सारखें उष्णमान होऊन दोहोंस समान व स्थिर अवस्था प्राप्त झाल्याशिवाय वाहकशक्ति पाहूं लागल्यास विशिष्ट उष्णतेच्या भिन्नत्वामुळें खरी वाहक शक्ति झांकली जाते.

प्रयोग २—A, B, C, इत्यादि आंकडे लाविलेल्या निरनिराळ्या धातूंच्या



आकृति १०४ वी.

गोळ्या आहेत. यांचे आकार सारखे असून प्रयोग सूक्ष्ममानानें करणें असल्यास त्या सारख्या वजनाच्याही असाव्या. (आ. १०४ पहा) जे धातु जास्त जड आहेत, त्यांच्या

... विशिष्ट उष्णता स्थूलमानानें समजेल.

प्रयोग—विशिष्टउष्णतामापकांत (याचें वर्णन कलम २०२ यांत केलें आहे.) विवक्षित वजनाचें थोडें थंड पाणी भरावें. यांत अर्धा पौंड कढतें पाणी घालून सर्व पाण्याचें उष्णमान काय होतें तें पहावें. नंतर मापक रिकामा करून त्यांत पूर्वींच्या इतकेंच थंड पाणी घालावें, आणि या वेळीं त्यांत ३/४ पौंड कढतें पाणी व कढत्या पाण्याच्या उष्णमानाचे पाव पौंड छरे असे घालावे, आणि अखेरीस मापकांतील पाण्याचें उष्णमान काय होतें तें पाहावें. या वेळीं पूर्वींपेक्षां उष्णमान पुष्कळ कमी असेल. म्हणजे पाव पौंड छऱ्यांनीं त्याच्या जागीं जें पहिल्या प्रयोगांत पाव पौंड पाणी होतें, त्याच्या इतकी उष्णता थंड पाण्यास दिली नाहीं.

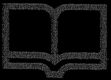
उष्णतामापन.

२०२. **उष्णतामापनाचे उद्देश व त्याच्या रीति**—या व पूर्वींच्या प्रकरणांत विशिष्ट उष्णता व अनुद्भूत उष्णता यांच्या व्याख्या दिल्या, व त्यांचें स्पष्टीकरण केलें. त्या दोहोंस कसें मापावें, हाच उष्णतामापनाचा मुख्य उद्देश आहे. तसेंच विवक्षित वजनाच्या भिन्नभिन्न पदार्थांचा रसायन संयोग झाल्यापासून व दुसऱ्या अन्य रीतीनें जी उष्णता उत्पन्न होते, ती कशी मापावी, हाही उष्णतामापनाचा उद्देश आहे.

विवक्षित पदार्थानें टाकिलेल्या उष्णतेनें विवक्षित वजनाच्या पाण्याचें उष्णमान किती अंश चढतें, हें पाहूनच विशिष्टउष्णता मापितात; किंवा जर बर्फाची अनुद्भूत उष्णता आपणास माहीत असली, (आणि ती ८० आहे असें काढिलें आहे.) तर त्या उष्णतेनें किती बर्फ वितळतें, हें पाहून विशिष्ट उष्णता काढितात. ज्या उष्णतेनें एक पौंड बर्फ वितळेल त्या उष्णतेनें एक पौंड पाण्याचें ८०°श उष्णमान चढेल.

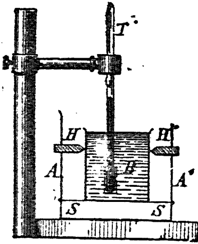
ज्याची विशिष्ट उष्णता काढणें आहे त्याचें, व त्यानें थंड होते वेळीं बाहेर टाकिलेल्या उष्णतेनें ज्या पाण्याचें उष्णमान चढतें त्या पाण्याचें अशीं दोहोंचीं वजनें पौंडांत घेतलीं किंवा ग्राममध्यें घेतलीं, तरी अर्थ सारखाच आहे. त्यांत कांहीं भेद नाहीं. मात्र दोहोंचीं वजनें एकाच जातीच्या परिमाणांत घेतलीं पाहिजेत, हें लक्षांत ठेवावें.

२०३. **मिश्रणाची रीति–उष्णता मापण्याचें साधें यंत्र**.—उष्णता मापण्यास जें साधें यंत्र नेहमीं घेतात त्याचें वर्णन करूं; व त्याचें छिन्न काढून त्याचा उपयोग कसा करितात, तेंही आतां सांगूं. A Á हें कथलाचें चकचकीत वाटोळें भांडें आहे; याची उंची ४१/२ इंच असून व्यासही सुमारें ४१/२ इंचच आहे. B हें A A′ सारखेंच पण याहून लहान भांडें आहे. याची उंची ३ इंच व व्यास २२/३ इंच आहे.





हें B भांडें S S दोरीनें आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें थोरल्या A A भांड्यांत अंतराळीं ठेविलें आहे व त्याचे कांठ H, H′ (आ. १०५ पहा) या लांकडी तुकड्यांच्या टोंकावर टेंकले आहेत. या आंतील B भांड्यांत आपण विवक्षित वजनाचें पाणी घालूं; आणि त्यास मिळालेल्या उष्णतेनें याचें जितकें उष्णमान वाढेल, त्यावरून किती उष्णता यांत आली हें मापूं. बाहेरील A भांडें व आंतील B भांड्याचा बाहेरील पृष्ठभाग अशाकरितां चकचकीत ठेविला आहे कीं त्यांपासून विसर्जनानें होईल तितकी कमी उष्णता विसर्जित व्हावी. दोरी व लांकडी तुकडे यांनीं भांडें अंतराळीं ठेवण्याचें कारण हें कीं, वहनानें ही उष्णता जाऊं नये. T हें उष्णमापक B भांड्यांतील पाण्यांत आहे; त्यावरून पाण्याचें उष्णमान समजतें.



आकृति १०५ वी.

२०४. हें उघड आहे कीं, जेव्हां विशिष्ट उष्णता मापण्याकरितां (उदाहरणार्थ ज्या धातूची विशिष्ट उष्णता मापणें आहे, त्या धातूस उष्ण करून पाण्यांत बुडवून) B भांड्यांतील पाण्याचें उष्णमान वाढवूं, तेव्हां त्याबरोबर B भांड्याचें व त्यांतील T उष्णमापकाचेंही उष्णमान वाढेल. (ह्मणजे कांहीं उष्णता या दोहोंकडून शोषली जाईल.) यास्तव ही उष्णताही हिशेबांत धरिली पाहिजे. आपली अशी इच्छा असते कीं, पाण्याशिवाय दुसऱ्या कशानेंही उष्णता शोषूं नये. परंतु असें होणें शक्य नाहीं. याकरितां B भांडें व T उष्णमापक या दोहोंच्या इतकी उष्णता शोषण करण्यास किती वजनाचें पाणी जास्त घ्यावें हें काढिलें पाहिजे.

B भांडें रिकामें असतां त्याचें वजन प१ पौंड आहे आणि क१ ही त्याची विशिष्ट-उष्णता आहे असें घेऊं. याकरितां त्याचें १°श उष्णमान वाढविण्यास (प१ × क१) इतकी उष्णता तें शोषण करील. म्हणजे याची किंमत प१ क१ इतक्या वजनाच्या पाण्याचें १°श उष्णमान वाढविण्यास जितकी उष्णता लागेल, तितकीच उष्णता प१ पौंड वजनाच्या भांड्याचें १°श उष्णमान वाढविण्यास लागेल. याचप्रमाणें जर प२, क२ अनुक्रमें उष्णमापकाचें वजन व त्याची विशिष्ट उष्णता असतील, तर त्या बरोबरीचें पाणी प२ क२ पौंड होईल. म्हणून B भांडें व T उष्णमापक या दोहोंच्या बरोबरीचें पाणी क्ष समजलों तर—

$$क्ष = प_१ क_१ + प_२ क_२.$$

म्हणून जर B भांड्यांत प पौंड पाणी असेल तर त्याच्या जागीं हिशेब करितांना प + क्ष पौंड पाणी घ्यावें म्हणजे भांडें व उष्णमापकानें शोषलेली उष्णता हिशेबांत येईल.

२०५. **कोणत्याही धातूची विशिष्टउष्णता काढणें.**—ज्या धातूची विशिष्ट-उष्णता काढणें आहे, त्या धातूचे विवक्षित वजनाचे लहान लहान तुकडे घेतात. त्यांस तारांच्या जाळीच्या वाटींत घालून कढत्या पाण्यांत बुडवितात; आणि त्यांचें उष्णमान कांहीं नियमित अंशापर्यंत चढवून पटकन पाण्यांतून काढून वाटीसह त्यांस B भांड्यांतील पाण्यांत बुडवितात. आतां धातूचे तुकडे, वाटी, व पाणी जीं बरोबर जातात,

समीकरण त्याहावें. यांत धातूची विशिष्टउष्णता अव्यक्त असेल. समीकरण सोडवून या अव्यक्ताची किंमत काढिली म्हणजे विशिष्टउष्णता निघेल.

असें घेऊं कीं,

क्ष—B भांडें व T उष्णमापक यांच्या बरोबरीचें पाणी.

प—B भांड्यांत आरंभीं घातलेल्या पाण्याचें वजन.

$प_{१}$—तारांच्या वाटीस लागून गेलेल्या पाण्याचें वजन. B भांड्याचें पूर्वी व मागून वजन करून व त्यांतून त्यांतील पदार्थांचीं वजनें वजा करून हें सहज काढितां येतें.

$प_{२} \times क_{२}$—तारांच्या जाळीच्या बरोबरीचें पाणी.

व—धातूचें वजन.

क—त्याची विशिष्टउष्णता.

उ—B भांडें व त्यांतील पाणी यांचें मूळचें उष्णमान.

$उ_{१}$—अखेरचें उष्णमान.

$उ'$—कढत्या पाण्याचें उष्णमान.

धातूचे तुकडे, वाटी, व यांस लागून गेलेलें पाणी यांचें उष्णमान कमी होईल म्हणजे यांतून उष्णता जाईल. एकंदर यांतून गेलेली उष्णता ($प_{१} + प_{२} क_{२} + वक$). ($उ' - उ_{१}$) होईल. आणि B भांडें T उष्णमापक यांचें उष्णमान उ पासून $उ_{१}$ पर्यंत वाढेल. म्हणून यांणीं शोषण केलेली उष्णता (प + क्ष) ($उ_{१} - उ$) होईल; म्हणून समीकरणः—

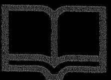
$$(प_{१} \times प_{२} क_{२} + वक) \; (उ' - उ_{१}) = (प + क्ष) \times (उ_{१} - उ)$$

प्रयोगावरून जीं उष्णमानें कळलीं आहेत, तीं, व प्रत्यक्ष जीं वजनें केलीं आहेत तीं, शिवाय करून या समीकरणांत क शिवाय आणखी अव्यक्तें आहेत.

कारण (१) क हें अक्षर अव्यक्त आहेच; (२) $प_{२} क_{२}$ हेंही अव्यक्त आहे, कारण यापैकीं वाटीची विशिष्टउष्णता $क_{२}$ माहीत नाहीं; (३) क्ष हें अव्यक्त आहे. यांत भांडें व उष्णमापक यांच्या विशिष्टउष्णता आलेल्या आहेत. परंतु हें उघड आहे कीं, हीं अव्यक्तें सर्व प्रयोगांत सारखींच असतील. म्हणून यांच्या किमती काढण्याकरितां प्रत्येक वेळीं धातूचीं निरनिराळीं वजनें घेऊन तीन प्रयोग करावे. म्हणजे हीं अव्यक्तें असलेलीं तीन समीकरणें येतील. त्या समीकरणांवरून या तिहींच्या किमती समजतील.

याप्रमाणें $प_{२} क_{२}$ आणि क्ष यांच्या एकदां किमती काढिल्या म्हणजे हवा तो पदार्थ घेऊन त्याची विशिष्टउष्णता क काढितां येईल.

टीप—प्रकरणाच्या अखेरीस ह्या रीतीनें केलेलीं एक दोन उदाहरणें दिलीं आहेत. परंतु वरील यंत्रानें प्रत्यक्ष प्रयोग केल्यानें सर्व गोष्टी चांगल्या समजतात.



२०६. **विसर्जनानें उष्णता जाते तिजविषयीं**—आम्ही पूर्वी सांगितलें आहे व पुढील प्रकरणांत आणखी सांगूं कीं, एकाद्या खोलींतील सर्व पदार्थांचें उष्णमान समान होण्याचा सर्वदा कल असतो. साधारणतः या उष्णमानास हवेचें उष्णमान असें म्हणण्याची चाल आहे. (असें ह्मणणें सर्वदा बरोबर नसतें). हें उष्णमान उ° श आहे असें कल्पूं. आतां दुसरा कोणताही पदार्थ ज्याचें उष्णमान क्ष° श आहे असा खोलींत नेला. आतां हें क्ष° श उष्णमान उ° श उष्णमानापेक्षां जास्त किंवा कमी असेल. म्हणून हा पदार्थ जलद किंवा सावकाश शीत होईल, किंवा उष्ण होईल, आणि हें मान उ व क्ष यांमधील अंतरावर अवलंबून असेल. यास्तव उष्णतामापकाचें उष्णमान उ° पासून जास्त वाढत असतां त्यांतील कांहीं उष्णता विसर्जनानें कमी होत राहील.

उष्णतामापकांतून विसर्जनानें कांहीं उष्णता गेल्यामुळें जी चूक होते ती भरून काढण्याच्या दोन रीति आहेत.

(१) **प्रतिपूरणाची रीति.**—प्रथमतः स्थूलमानानें प्रयोग करून उष्णतामापकांत पदार्थ घातल्यानें अखेरचें साधारण उष्णमान काय होतें तें काढितात. असें समजूं कीं तें उष्णमान क्ष° होतें. नंतर उष्णतामापकांस त्याच्या मूळच्या उ° श उष्णमानापेक्षां $\frac{क्ष-उ}{२}$ इतके अंश त्याचें उष्णमान कमी होईपर्यंत शीत करितात आणि अशा नीच उष्णमानाचें उष्णतामापक घेऊन विशिष्टउष्णता काढण्याकरितां प्रयोग करितात. आतां अखेरचें उष्णमान स्वाभाविकच उ° श. पेक्षां $\frac{क्ष-उ}{२}$ इतके अंश जास्त असेल. यास्तव उष्णतामापक हवेच्या उ° श. उष्णमानाहून $\frac{क्ष-उ}{२}$ अंश कमी उष्णमानावर असल्यामुळें उष्णता शोषण करील आणि शेवटीं इतकेच अंश उष्णमान जास्त असल्यामुळें विसर्जित करील. याप्रमाणें शोषण व विसर्जन सारखें घडून बरीच चूक जाईल. अंकाचें उदाहरण घेऊं, म्हणजे जास्त लक्षांत येईल. हवेचें व उष्णतामापकाचें व मूळचें उष्णमान ३०° श आहे, आणि स्थूल प्रयोगानें काढलेलें अखेरचें उष्णमान ४०° श आहे. ह्मणजे पदार्थापासून मिळालेल्या उष्णतेनें उष्णतामापकाचें उष्णमान १०° वाढतें. आतां $\frac{४०-३०}{२}$ =५ इतके अंश उष्णमापकास शीत करितात. म्हणजे उष्णतामापकास २५° श वर आणून प्रयोग करितात. पदार्थाच्या योगानें एकंदर उष्णतामान १०° चढत असल्यानें अखेरचें उष्णमान ३५° श होईल. ह्मणजे मूळच्या ३०°श उष्णमानाहून ५° जास्त असेल. आरंभीं ५° कमी होतें व पुढें ५° जास्त होतें. यास्तव ५° कमी असतां जितकी उष्णता शोषली जाईल तितकीच ५° जास्त असतां विसर्जित होईल, असें ह्मणण्यास हरकत नाहीं.

(२) **हिशेब करून चूक भरून काढण्याची रीति.**—स्थूल प्रयोगानें अखेरचें उष्णमान काढावें. समजा कीं तें क्ष° आहे. प्रत्यक्ष प्रयोगांत जितकें पाणी उष्णतामापकांत असावयाचें तितक्या वजनाचें पाणी उष्णतामापकांत घेऊन त्यास उष्ण करावें व क्ष° पेक्षां कांहीं जास्त उष्णमानावर न्यावें. नंतर यास हवेंत आपोआप शीत होऊं देऊन प्रत्येक अंश उष्णमान उतरण्यास किती काळ लागतो तो टिपून ठेवावा.

प्रत्यक्ष प्रयोगावरून निघालेल्या क्ष° उष्णमानाच्या जागीं आपणास घेतां येईल.

२०७. **द्रवांची विशिष्टउष्णता**—घन पदार्थांची विशिष्ट उष्णता काढण्याची जी रीति वर सांगितली, त्याप्रमाणेंच मुख्यत्वें करून द्रवाची विशिष्ट उष्णता काढण्याची रीति आहे. परंतु द्रव उष्ण केल्यावर एका भांड्यांत ओततात, आणि तें भांडें उष्णतामापकांतील पाण्यांत ठेवितात. यामुळें द्रव पाण्यांत मिसळत नाहीं.

२०८. **रेग्नाल्टचें यंत्र**—कलम २०३ यांत सांगितलेली रीति रेग्नाल्ट यानें सुधारून तिला जास्त सूक्ष्मता आणिली. त्या यंत्राचें वर्णन आम्ही येथें देत नाहीं. कारण वरच्याहून त्याची रीति विशेष भिन्न नाहीं; मात्र त्याच्या रीतीनें विशिष्ट उष्णता काढण्यास जास्त वेळ लागतो; व प्रयोग करितांना फार जपावें लागतें.

त्याच्या मुख्य सुधारणा अशा आहेतः—

(१) पदार्थास वाफेनें उष्ण करितात, यामुळें त्यास पाणी लागून मापकांत जात नाहीं. (पाण्याच्या उच्च विशिष्ट उष्णतेमुळें पदार्थाबरोबर जें पाणी जातें त्याचें वजन करण्यांत जरी थोडी चूक झाली, तरी त्यापासून काढलेल्या विशिष्ट उष्णतेंत मोठी चूक होते.)

(२) उष्ण करण्याच्या ठिकाणापासून पदार्थास उष्णतामापकांत फार जलदी नेण्याची योजना असते. म्हणून तो मार्गांत थंड होण्याचें मान पुष्कळ कमी होतें.

(३) पदार्थास उष्ण करण्याकरितां जें भांडें व दिवा घेतला असेल, त्याची उष्णता उष्णतामापकास पोचूं नये, अशाविषयीं फार खबरदारी घेतलेली असते.

२०९. **विशिष्ट उष्णतांचें कोष्टक**—पुढील कोष्टक **डिश्चानल** याच्या पुस्तकांतून घेतलें आहे.

पाणी=१.०००००.

घनपदार्थ.

अंटिमनी	०.०५०७७	तांबें	०.०९२१५
रूपें	०.०५६०१	प्लाटिनम्	०.०३२४३
आर्सेनिक	०.०८१४०	शिसें	०.०३१४०
बिस्मथ	०.०३०८४	क्याडमिअम	०.०५६६९
कथील	०.०५६२३	लांकडी कोळसा	०.२४१५०
लोखंड	०.११३७९	हिरा	०.१४६८०
जस्त	०.०९५५५	फास्फरस	०.१८८७०
पितळ	०.०९३९१	प्लंबेगो (शिसपेनीचा दगड)	०.२१८५०
निकेल	०.१०८६०	गंधक	०.२०२५९
सोनें	०.०३२४४	कांच	०.१९७६८
		आयोडिन	०.०५४१२

द्रवरूपी पदार्थ.

पारा	०.०३३३२	बेंझिन	०.३९५२०
आसेटिक आसिड	०.६५८९०	ईथर..................	०.५१५७०
आल्कोहोल (३६°श)...	०.६७३५०	टर्पेंटाइन तेल	०.४६२९०

२१०. **वायूंची विशिष्ट उष्णता**—या पुस्तकांत केवळ मूलभूत सिद्धांत सांगण्याचा उद्देश असल्यामुळें वायूची विशिष्ट उष्णता काढण्याच्या रीतीचें समग्र वर्णन करणें योग्य होणार नाहीं. म्हणून रेग्नाल्टच्या रीतीचें फक्त मूलतत्व मात्र येथें सांगितलें आहे. वायूच्या नीच दार्ढ्यामुळें बऱ्याच वजनाचा वायु घेण्यास त्याचें आकारमान फार मोठें घ्यावें लागतें. ह्मणून कांहीं विवक्षित परिमाणाच्या वायूस उष्ण करून मापकांत न घालतां सारख्या मानानें वाहणारा वायूचा प्रवाह घेणें अवश्य असतो. या प्रवाहास एका भांड्यांत उष्ण करून नंतर त्यास मापकांत जाऊं देनात, व तेथें तो शीत होतो. म्हणून अशा प्रयोगांत—

(१) वायूचा प्रवाह सारख्या मानानें वाहणारा असणें जरूर असतें; कारण येणेंकरून दर सेकंडांत जितका वायु जाईल, त्यावरून त्याचें वजन काढितां येतें.

(२) वायूस कांहीं नियमित अशा विवक्षित उष्णमानावर आणावें लागतें. अपक्याचें पाणी करण्याच्या शीतकांत ज्या प्रकारच्या नागमोडी आकाराच्या नळीचा उपयोग करितात, तसल्या नळींतून वायूचा प्रवाह जाऊं देऊन त्यास नियमित उष्णमान देतात.

(३) मापकांतही नियमित अशा विवक्षित उष्णमानावर येई पर्यंत तो शीत झाला पाहिजे. याकरितां त्यास मापकांतही नागमोडी नळींतून जाऊं देऊन शीत करितात.

बाकी सर्व कृति घनपदार्थांप्रमाणें मुख्यत्वें असते.

२११. **वायूचा आकार कायम असतां आणि त्यावरील दाब कायम असतां त्याची विशिष्टउष्णता**—घन व द्रव पदार्थांच्या विशिष्ट उष्णता काढतांना आपण त्यांचा आकार व त्यांवरील दाब यांविषयीं कांहीं विचार केला नाहीं. परंतु आपण असें गृहीत घेतलें होतें कीं त्यांवर सर्व काळ हवेचा दाब होता, आणि तें मोकळेपणीं प्रसरण पावत होतें. परंतु वायूंचें प्रसरण इतकें जास्त होतें कीं, समान दाब असून जो वायु मोकळेपणीं उष्णतेनें प्रसरण पावत आहे तो वायु, आणि दाब वाढवून ज्याचा आकार नियमित ठेविला आहे तो वायु, या दोहोंस समान अंश उष्णमान देण्यास अगदीं भिन्नभिन्न मानाच्या उष्णता लागतात.

एक वेळीं वायु उष्ण होतांना उष्णमान वाढल्यामुळें तो प्रसरण पावतो; व त्याच्या वाढलेल्या आकारास जागा करण्याकरितां त्यास सभोंवतालच्या हवेस दूर लोटावें लागतें; व हें काम करण्यांत कांहीं उष्णता खर्च होते. आणि दुसऱ्या वेळीं वायूचा आकार दाबानें कायम ठेविल्यामुळें उष्णतेस वायूचें उष्णमान मात्र वाढविण्याचें असतें.

टीप—घन व द्रव पदार्थ फार थोडे प्रसरण पावतात; यामुळें हवेस दूर लोटण्याचें काम इतकें थोडें असतें कीं, तें काम करण्यांत जी थोडी उष्णता खर्च होते तिचा साधारणपणें आपण विचार करीत नाहीं.

ह्मणून स्वाभाविकच कायम आकाराच्या वायूस उष्ण करण्यास जी उष्णता लागते, तिजपेक्षां वाढत्या आकाराच्या वायूस तितकेंच उष्ण करण्यास जास्त उष्णता लागते.

जर वाढत्या आकाराच्या वायूची विशिष्ट उष्णता क असली, आणि कायम आकाराच्या हवेची $क_१$ असली, तर त्यांमध्यें असें प्रमाण असतें.—

$$\frac{क}{क_१} = \frac{१.४१४}{१}$$

हें प्रमाण सर्व वायूंस लागू पडतें. प्रकरण १२ यांत या प्रमाणाविषयीं पुनः विचार करण्यांत येईल.

२१२. **ड्युलांग आणि पेटिट यांचा नियम**—या उभयतां विद्वान गृहस्थांनीं एक चमत्कारिक व उपयुक्त असा सिद्धांत शोधून काढिला आहे. तो जरी अलीकडील प्रयोगांवरून सूक्ष्म मानानें बरोबर नाहीं, असें समजलें आहे, तरी तो फार महत्वाचा आहे. रासायनिक मूलतत्वांचें परमाणुगुरूत्व ह्मणजे काय हें वाचकास माहीत आहे, असें समजून खालील विवेचन केलें आहे. (रसायनशास्त्र पृ.प्र. ५ पहा)

एकाकी पदार्थांचीं सारखीं वजनें न घेतां त्यांच्या परमाणुगुरूत्वांच्या प्रमाणांत घेतलीं, तर त्या सर्वांस सारखें उष्णमान देण्यास सारखी उष्णता लागते. अशा वजनांत एकाकी पदार्थांचे सारखे परमाणु असतात. म्हणून **जर आपण प्रत्येकाचा एकक परमाणु घेतला तर त्याचें एक अंश उष्णमान वाढवण्यास सारखी उष्णता लागेल.** याचा अर्थ असा कीं, **सर्व एकाकी पदार्थांची परमाणुविशिष्ट उष्णता सारखी असते;** किंवा जर एकाद्या एकाकी पदार्थांचें परमाणुगुरूत्व अ धरिलें, आणि त्याची विशिष्ट उष्णता क धरिली तर—

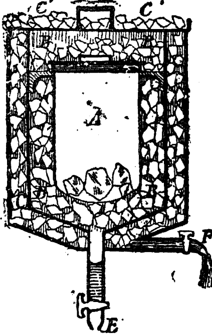
$अ \times क = ६.३$ हा आंकडा नित्य सारखा असतो.

वायूंच्या संबंधानें आपणास असें माहीत आहे कीं, समान दाब व समान उष्णमान असतां एकाकी वायूंच्या समान आकारमानांत समान परमाणु असतात. म्हणजे त्यांच्या समान आकारांचीं वजनें त्यांच्या परमाणुगुरूत्वांच्या प्रमाणांत असतात. ह्मणूनः—

समान दाब व समान उष्णमान असतां एकाकी वायूंच्या समान आकारांचें १ उष्णमान वाढविण्यास समान उष्णमान लागतें.

२१३. **बर्फाचें विशिष्ट उष्णतामापक**—घन आणि द्रव पदार्थांची विशिष्टउष्णता काढण्याच्या दुसऱ्या एका मापकाचें वर्णन करूं. याचा उपयोग करण्यास बर्फाची अनुद्भूत उष्णता (पुढें समजणार आहे.) माहीत आहे असें गृहीत घेतलें पाहिजे. बर्फाची अनुद्भूत उष्णता ८० आहे. विवक्षित वजनाचा पदार्थ शीत होतांना त्याचें उष्णमान विवक्षित उष्णमानापासून ०° श होईपर्यंत जी उष्णता त्यांतून बाहेर जाते, तिनें ०° श उष्णमानाचें किती वजनाचें बर्फ वितळून ०° श उष्णमानाचें पाणी होतें हें पाहणें हेंच या उष्णतामापकाचें मुख्य तत्त्व आहे.

असलें एका तऱ्हेचें मापक खालील आकृतींत दाखविलें आहे. (आ. १०६ पहा).



आकृति १०६ वी.

A हें पातळ धातूच्या पत्र्याचें किंवा तारांच्या जाळीचें भांडें आहे. यावर झांकण आहे, व याच्या सभोंवार ०° श उष्णमानाचें बर्फ आहे. तें B B B B अक्षरांनीं दर्शविलेल्या जाग्यांत आहे. हें बर्फ बाहेरील उष्णतेनें भगदीं वितळूं नये, म्हणून याच्या सभोंवतीं एक भांडें असून त्यांत C C C C ठिकाणीं बर्फ घातलेलें आहे. तसेंच C′ C′ या झांकणावरही बर्फ आहे. या रीतीनें A भांड्याचें आणि B B B B ठिकाणच्या बर्फाचें उष्णमान ०°श कायम राहतें, व यांत बर्फ आपोआप भगदीं वितळत नाहीं. याच्या सभोंवतालचें C C C C बर्फ आणि झांकणावरील C′ बर्फ वितळेल, परंतु त्याचें उष्णमान ०°श राहील. यांतील बर्फ वितळून जें पाणी येईल, तें पाणी F तोटीनें बाहेर जाईल.

विवक्षित व वजनाचा पदार्थ घेऊन व त्याचें विवक्षित उ उष्णमान होईपर्यंत त्यास उष्ण करून, झटकन A भांड्यांत घालावें. कांहीं वेळानें त्याचें उष्णमान उतरून ०°श होतें, व त्यांतून बाहेर पडलेल्या उष्णतेनें असें समजूं कीं, प पौंड बर्फ वितळतें. प पौंड बर्फ वितळलें म्हणजे त्यानें (प × ८०) इतक्या पौंड वजनाच्या पाण्याचें १° श उष्णमान वाढविण्यास जितकी उष्णता लागते, तितकी उष्णता शोषिली. यास्तव समीकरण असें होतें.—(इष्ट विशिष्ट उष्णता दर्शविण्यास क्ष घेऊन)

$$\text{व क्ष उ} = ८०\text{प}.$$

$$\therefore \text{क्ष} = \frac{८०\text{प}}{\text{व उ}}.$$

अनुद्भूत उष्णता.

२१४. **द्रवीकरणाची अनुद्भूत उष्णता**—बर्फाच्या द्रवीभवनांत किती उष्णता अनुद्भूत होते, हें आतां आपण पाहूं. प्रकरण ६ कलम ११६ यांत याची व्याख्या दिलेली आहे. अनुद्भूत उष्णता काढण्यास आपण साध्या विशिष्ट उष्णतामापकाचाच उपयोग करूं.

उष्णतामापकांत बर्फ घातल्यानें त्यांतील पाण्याचें उष्णमान उतरेल, आणि जर तें पाणी आरंभीं हवेच्या उष्णमानावर असलें तर त्याचें हवेच्या उष्णमानाहून कमी उष्णमान होईल व यामुळें तें सभोंवतालच्या पदार्थांपासून उष्णता शोषण करील.

यामुळें मापक जी उष्णता शोषण करील व तेणेंकरून जी हिशोबांत चूक होईल ती भरून काढण्याकरितां प्रथमतः स्थूल प्रयोग करून किती अंश उष्णमान उतरतें तें पहावें. असें समजूं कीं क्ष° उष्णमान उतरतें; नंतर प्रत्यक्ष प्रयोग करून

लागण्यापूर्वी उष्णमापकास हवेच्या उष्णमाना पेक्षां $\frac{१}{२}$ अंश जास्त उष्ण करावें. या रीतीनें आरंभीं उष्णतामापक उष्णता विसर्जित करील आणि शेवटीं उष्णता शोषण करील; आणि चूक भरून येईल.

प्रयोगास जें बर्फ घ्यावयाचें तें ०°श. उष्णमानाचेंच घ्यावें. ०°शाहून त्याचें उष्णमान कमी असूं नये. तसेंच तें प्रयोगास घेण्यापूर्वीं त्यास चांगलें कोरडें करावें. म्हणजे त्याचें वजन करितांना त्या वजनांत कांहीं पाण्याचें वजन येणार नाहीं.

प=मापकांत जें आरंभीं पाणी घातलें असेल त्याचें वजन पौंड.

व=त्यांत घातलेल्या बर्फाचें वजन; हें वजन, आरंभीं व शेवटीं वजनें करून व त्यांची वजाबाकी करून काढावें.

क्ष=मापकाच्या बरोबरीच्या पाण्याचें वजन पौंड.

उ_1=मापकाचें आरंभींचें उष्णमान.

उ_2=त्याचें अखेरचें उष्णमान.

ग=बर्फाची गुप्त उष्णता.

आतां प्रथम ०°श उष्णमानाचें बर्फ वितळून त्याचें ०°श उष्णमानाचें पाणी बनतें. बर्फ व पौंड आहे, व त्याची गुप्त उष्णता ग आहे; ह्मणून त्यानें वग अंश उष्णता शोषण केली असेल. पाण्याचें उष्णमान उ_2° पर्यंत चढलें आहे; ह्मणून आणखी $\text{व}\text{उ}_2$ अंश उष्णता पाण्यानें शोषण केली असेल. एकंदर उष्णता जी बर्फास मिळाली, ती व (ग+उ_2) आहे.

मापकाचें उ_1° पासून उ_2° पर्यंत उष्णमान उतरलें आहे ह्मणून त्यानें जी उष्णता बाहेर टाकिली तीः—

$$(\text{प}+\text{क्ष})(\text{उ}_1-\text{उ}_2)$$

ह्मणून समीकरणः—

$$\text{व}(\text{ग}+\text{उ}_2)=(\text{प}+\text{क्ष})(\text{उ}_1-\text{उ}_2)$$

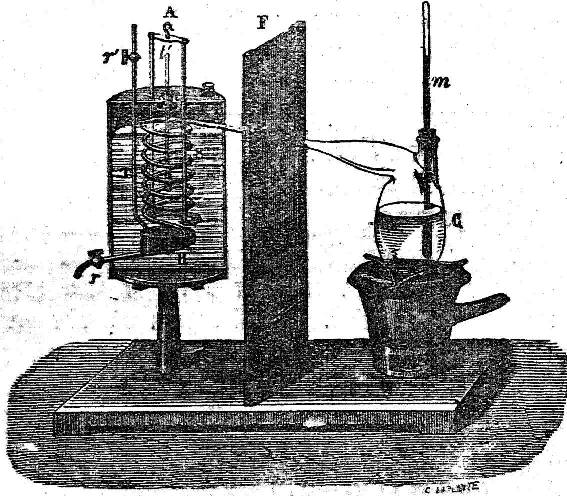
$$\therefore \text{ग}=\frac{(\text{प}+\text{क्ष})(\text{उ}_1-\text{उ}_2)}{\text{व}}-\text{उ}_2$$

२१५. **उष्णमापकांची परीक्षा करणें.**—उष्णमापकावर आरंभीं जो ०° घातला असेल तो त्याचा क्वचितच कायम राहतो. कांच सावकाश शीत होत असल्यामुळें फुग्याचा आकार कमी होतो, व यामुळें वरील प्रकार घडतो. आतां वर जे प्रयोग सांगितले त्यांत उष्णमानांचीं अंतरें घ्यावीं लागलीं;एकच उष्णमापक घेतलें तर ०° च्या खुणेंत कांहीं फेरफार झाला तरी ती चूक वजाबाकींत नाहींशी होईल. परंतु ज्या ठिकाणीं आपण दोन भिन्न उष्णमापकांचा उपयोग केला असेल, त्या ठिकाणीं चूक राहील. या करितां अशा वेळीं त्यांची परस्पर तुलना केली पाहिजे.

परंतु वरील प्रयोगांत उ_2° हें उष्णमान वेगळें एकटेंच आहे. म्हणून ०° च्या खुणेंत जर उष्णमापकांत एक अंशाची चूक झाली, तर गुप्त किंवा अनुद्भूत उष्णता दर्शविणाऱ्या आंकड्यांत एका संख्येची चूक होईल.

रीतीनें काढितात, तें सांगूं. ही रीति सर्व साधारण रीतींचेंच एक उदाहरण आहे.

C एक भांडें आहे, व त्यांत पाणी कढत आहे. त्यांत M उष्णमापक आहे व तें



आकृति १०७ वी.

त्याचें उष्णमान दाखवितें. वाफ प्रथमतः एका रुंद नळींत जाते, आणि तिजबरोबर कांहीं पाण्याचा अंश आला असल्यास तो त्या नळींत राहतो. नंतर कलत्या नळींत वाफ चढते. यामुळें मापकांत वाफ जाण्यापूर्वी कांहीं थिजली असल्यास तेंही पाणी परत C भांड्यांत पडतें. मापकांत शिरल्यावर S या नागमोडी नळींतून R भांड्यांत जाते. नागमोडी नळी इतकी लांब असावी लागते कीं, सर्व वाफ थिजून नुस्तें पाणी भांड्यांत जावें. या R भांड्याचें उष्णमान नागमोडी नळींच्या सभोंवतालच्या पाण्याच्या उष्णमाना इतकें असतें.

जें पाणी R नळींत जमतें तें r नळीनें बाहेर काढून घेऊन त्याचें वजन करितां येतें. R भांड्यास जोडलेली T नळी वाताकर्षक यंत्रास जोडलेली असते व तिच्या योगानें पाण्यावरील दाब नियमित ठेवितां येतो. T या उष्णमापकानें मापकाचें आरंभींचें व शेवटचें असीं उष्णमानें समजतात. F हा एक दोहों भांड्यांमध्यें पडदा आहे. (आ. १०७ पहा).

आतां जी वाफ नागमोडी नळींत शिरते, तिचें आरंभींचें उष्णमान m उष्णमाप-

व पौंड घेऊं; मापकाचें आरंभींचें उष्णमान $\text{उं}_{०}$ घेऊं; वाफेची जी गुप्त उष्णता काढणें ती ग घेऊं. बाकी अक्षरें पूर्वींचींच कायम आहेत.

आतां वाफेनें बाहेर टाकलेली उष्णता—

$$\text{व} \times \text{ग} + \text{व} \,(\text{उ} - \text{उ}_{१})$$

मापकानें शोषण केलेली उष्णता—

$$(\text{प} + \text{क्ष})\,(\text{उ}_{१} - \text{उं})$$

$$\text{व ग} + \text{व}\,(\text{उ} - \text{उ}_{१}) = (\text{प} + \text{क्ष})\,(\text{उ}_{१} - \text{उं})$$

$$\therefore \text{ग} = \frac{(\text{प} + \text{क्ष})\,(\text{उ}_{१} - \text{उं})}{\text{व}} - (\text{उ} - \text{उ}_{१})$$

विसर्जनानें जी उष्णता जाईल ती सर्व हिशेबांत धरली पाहिजे.

२१७. गुप्त उष्णता आणि एकंदर उष्णता.—निरनिराळ्या उष्णमानांवर बाष्पभवनाच्या गुप्त उष्णता ज्या रेग्नाल्ट यानें काढिल्या त्या खालील कोष्टकांत दिल्या आहेत. (**डिश्चानल याच्या** पुस्तकांतून हें कोष्टक घेतलें आहे.)

गुप्तउष्णतेशिवाय बाष्पभवनाची एकंदर उष्णता ही प्रत्येक वेळीं दिलेली आहे. ०°श उष्णमानापासून त्या उष्णमानावर चढविण्यास जी उष्णता लागते, ती गुप्त उष्णतेंत मिळवून एकंदर उष्णता काढलेली आहे.

वाटचा सिद्धांत किती खरा आहे, हें आपणास येथें समजतें. (क. १७२ पहा).

शतभाग उष्णमान.	गुप्त उष्णता.	एकंदर उष्णता.	शतभाग उष्णमान.	गुप्त उष्णता.	एकंदर उष्णता.
०°	६०६	६०६	१२०°	५२२	६४२
१०°	६००	६१०	१३०°	५१५	६४५
२०°	५९३	६१३	१४०°	५०८	६४५
३०°	५८६	६१६	१५०°	५०१	६५१
४०°	५७९	६१९	१६०°	४९४	६५४
५०°	५७२	६२२	१७०°	४८६	६५६
६०°	५६५	६२५	१८०°	४७९	६५९
७०°	५५८	६२८	१९०°	४७२	६६२
८०°	५५१	६३१	२००	४६४	६६४
९०°	५४४.	६३४	२१०	४५७	६६७
१००°	५३७	६३७	२२०	४४९	६६९
११०°	५२९	६३९	२३०	४४२	६७२

[illegible]
पदार्थांचें जें साधारणपणें ज्वलन घडतें, त्यापासून किती उष्णता उत्पन्न होते, हें त्यांनीं काढिलें.

ज्या रीतीनें त्यांनीं हे प्रयोग केले, ती साधी होती. एका थोरल्या विशिष्टउष्ण-मापकांत एक भांडें असे, व त्यांत ज्वलन चाले; भांड्याच्या बुडाशीं एक नळी असे. त्या नळींतून हवा मिळे आणि ज्वलनापासून उत्पन्न झालेले वायु व इतर पदार्थ भांड्याच्या माथ्यावर लावलेल्या नागमोडी नळींत जात. हें भांडें व ही नागमोडी नळी या दोहोंं सभोंवार पाणी असे, व नागमोडी नळी इतकी लांब असे कीं तिजमधून हवा व दुसरे वायु बाहेर जाण्यापूर्वीं त्यांस मापकांतील पाण्याचें उष्णमान येई. जी उष्णता बाहेर पडे, ती पूर्वीं प्रमाणेंच मापीत. याप्रमाणें ज्वलनापासून जी उष्णता दृश्य होते, तिचें कोष्टक करितां येईल. निरनिराळे पदार्थ सारख्या वजनाचे घेऊन किंवा त्यांच्या सममूल्याइतके घेऊन असलीं कोष्टकें तयार करितात. याच रीतीनें दुसऱ्या रसायन-संयोगापासूनही जी उष्णता दृश्य होते तीही त्यांनीं काढिली.

त्यांच्या प्रयोगांपासून जें कळलें तें येणें प्रमाणें:—

(१) ज्या उष्णता दृश्य होतात, त्यांमध्यें कांहीं साधा नियम दृष्टीस पडत नाहीं. म्हणजे त्यांत कांहींच नियम दिसत नाहीं.

(२) जी उष्णता शोषिली जाते, तिला **ऋण** आणि जी बाहेर पडते, तिला **धन** असें कल्पिलें, तर कोणत्याही एकामागून एक अशा होणाऱ्या रसायनिक फेरफारांच्या मालिकेंत, शोषलेली उष्णता व बाहेर पडलेली उष्णता या दोहोंची साधी बेरीज नेहमी सारखी असते. यावरून असें दिसतें कीं मध्यंतरींच्या फेरफारांशिवायच एकदम अखेरचा परिणाम होतो. मात्र दोनही वेळीं बाह्य काम सारखें असतें.

टीप—सममूल्यांशाच्या प्रमाणांत पदार्थांचीं वजनें घेऊन त्यांचे रसायनसंयोग झाले म्हणजे त्यांपासून ज्या उष्णता उत्पन्न होतात त्यांचें कोष्टक विद्युत्शास्त्रांत फार महत्वाचें असतें.

विशिष्ट उष्णतेचीं उदाहरणें—पाण्याच्या विशिष्टउष्णतामापकाचा उपयोग दाखविण्याकरितां २ उदाहरणें देऊं. हे प्रयोग प्रत्यक्ष केले होते. हे जरी फार सूक्ष्म नाहींत तरी रीति समजण्यास बस आहेत.

(१) **घनपदार्थांची विशिष्टउष्णता काढणें**—प्रत्यक्ष विशिष्टउष्णता काढणें असेल तेव्हां एकच प्रयोग पांच किंवा सहा वेळ करितात. प्रत्येक वेळीं वि० उ० काढितात, आणि शेवटीं त्या सर्वांची सरासरी घेतात. या ठिकाणीं लोखंड घेतलें होतें.

कलम २०५ यांतील अक्षरें पहा.

प=१९२.९ग्राम.

क्ष=९.९९ ग्राम.

$प_{१} = ७.८$ ग्राम.

$प_{२} \times क_{२} = १.६४$ ग्राम.

$व = १०७.९$ ग्राम.

$उ = १५^{\circ}.५$ श.

$उ_{१} = २३^{\circ}.५$ श.

$उ' = ९८^{\circ}.५$ श.

या किमती कलम २०५ यांत काढलेल्या सारणींत लिहूनः—

$(प_{१}+प_{२} क_{२}+वक)(उ'-उ_{१}) = (प+क्ष)(उ_{१}-उ)$.

यांत किमती लिहून घेतल्यानें लोखंडाची वि. उ. क=.११३९ निघते.

पाण्याची गुप्त उष्णता काढणें.—ही रीति कलम २१४ मध्यें सांगितली आहे. खालील प्रमाणें देण्याकरितां प्रथम स्थूल प्रयोग केला व त्यांत पुढें प्रत्यक्ष प्रयोगांत बर्फ व उष्णमापकांतील पाणी यांचीं जीं परिमाणें घेणार तितकींच घेतलीं होतीं. या स्थूल प्रयोगांत एकंदर १५° उष्णमान उतरलें. ह्मणून हवेच्या आरंभींच्या उष्णमानाहून ८° जास्त इतकें उष्णमान होईपर्यंत उष्णतामापक व त्यांतील पाणी यांस उष्ण केलें. व येणें करून विसर्जनानें गेलेली व आलेली उष्णता सारखी केली. प्रयोगांत खालील प्रमाणें निघालीं:—

$प = १८०$ ग्राम.

$क्ष = ९.१$ ग्राम.

$व = ३४.८$ ग्राम.

$उ_{१} = १९^{\circ}.६$ श.

$उ_{२} = ४.३$ श.

या किमती कलम २१४ यांतील खालील समीकरणांत लिहूनः—

$$ग = \frac{(प+क्ष)(उ_{१}-उ_{२})}{व} - उ_{२}.$$

$ग = ७८.८$ ही पाण्याची गुप्त किंवा अनुद्भूत उष्णता येते.

आहे त्याचें स्पष्टीकरण कर.

(२) विस्तवांत बर्फ टाकिलें, तर त्यावर मोठा शीततजनक परिणाम उत्पन्न होतो याचें कारण सांग.

(३) ५०°श उष्णमानाच्या २ औंस पाण्यांत १००°श उष्णमानाचें १ औंस बिस्मथ टाकिलें, तेव्हां पाण्याचें उष्णमान ५०°. ४९ पर्यंत वाढलें. तर बिस्मथ धातूची विशिष्टउष्णता काढ.

(४) पाण्याचें उष्णमान−१०°श पर्यंत उतरल्यावर तें एकाएकीं थिजूं लागलें तर त्याचा कितवा भाग थिजेल?

(५) ३$\frac{1}{2}$ पौंड पाण्याचें−१२°श उष्णमान होईपर्यंत त्यास शीत केलें, तेव्हां तें थिजूं लागलें; तर किती पाणी थिजेल?

(६) प्रथमतः पाण्याहून पारा थंड लागतो. परंतु लवकरच गरम लागूं लागतो. प्रकरण १० व ११ यांत सांगितलेल्या तत्त्वांवरून याचें कारण सांग.

(७) १०° श उष्णमानाच्या ३० पौंड पाण्यांत १००° श उष्णमानाची १ पौंड वाफ सोडिली. तर पाण्याचें उष्णमान काय होईल? वाफेची अनुद्भूत उष्णता ५३७ आहे.

(८) १०° श उष्णमानाच्या १० ग्राम पाण्यांत ९०°श उष्णमानाचें १५ ग्राम रुपें टाकिलें. तेव्हां पाण्याचें उष्णमान १६°.३ श झालें. तर रुप्याची विशिष्टउष्णता काढ.

(९) ०°श उष्णमानाचें १३५ ग्राम बर्फ १००°श उष्णमानाच्या किती पाण्यांत मिळविलें असतां सर्व पाण्याचें उष्णमान १०°श होईल?

(१०) हाच परिणाम घडविण्यास पाण्याच्या ऐवजीं १००°श उष्णमानाची किती वाफ मिळवावी?

(११). एका भांड्यांत ७०°श उष्णमानाचें पाणी भरलें, तें तसेंच ठेविलें तेव्हां १० मिनिटांत त्याचें उष्णमान ६०°श पर्यंत उतरलें. त्याच भांड्यांत ७०°श उष्णमानाचा पारा भरला, व तसाच ठेविला, तेव्हां साऱ्या २७० सेकंदांत त्याचें उष्णमान ६०°श पर्यंत उतरलें. पारा पाण्याच्या १३·६ पट जड असतो. तर पाऱ्याची विशिष्टउष्णता काढ. [या रीतीनें विशिष्टउष्णता कशी काढावी हें पुस्तकांत सांगितलें नाहीं; परंतु सहजीं लक्षांत येणार आहे.]

(१२) ०°श उष्णमानाच्या बर्फाच्या तुकड्यांत एक खळगी करून त्यांत १००°श उष्णमानाची २०० ग्राम वजनाची लोखंडी गोटी घातली. गोटीनें बर्फ वितळण्याचें बंद झाल्यावर वितळून झालेल्या पाण्याचें वजन केलें, तें २९.३ ग्राम भरलें; तर लोखंडाची विशिष्टउष्णता काय असेल?

(१४) २०°श उष्णमानाचें कांहीं पाणी दिव्यावर ठेवलें, तें १० मिनिटांनी १००° श उष्णमानावर येऊन कढूं लागलें. या सर्व पाण्याची वाफ होण्यास आणखी ६७ मिनिटें लागलीं. दिव्यापासून सारखी उष्णता मिळत होती असें समजलें व विसर्जनानें गेलेली उष्णता हिशेबांत घेतली नाहीं, तर वाफेची विशिष्टउष्णता किती निघेल ?

(१५) ऊर्ध्वपातनानें पाणी शुद्ध करण्याच्या यंत्रांतील नागमोडी नळीच्या सभोंवार ०°श उष्णमानाचें १२० पौंड पाणी आहे. १००°श उष्णमानावर कढणाऱ्या पाण्याची वाफ तिजमध्यें सोडली तेव्हां पाण्याचें उष्णमान १०°.४ श झालें, व २ पौंड वाफ थिजून तिचें १०.४°श उष्णमानाचें पाणी झालें. तर यावरून वाफेची अनुद्भूत उष्णता काढ.

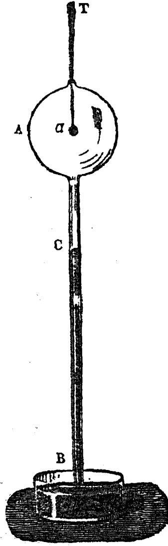
(१६) ५०°श उष्णमानाच्या १ पौंड पाण्यांत १००° उष्णमानाची १ औंस वाफ सोडिली. तर मिश्रणाचें उष्णमान काय होईल? वाफेची अनुद्भूत उष्णता = ५३६.

२२०. एका पदार्थांतून दुसऱ्या पदार्थांत उष्णता जाण्याची जी एक रीति आहे तिला **किरणविसर्जन** असें म्हणतात. हिजविषयीं आम्ही पूर्वी दिग्दर्शन केलें आहे. हिचा या प्रकरणांत विचार करूं.

हा वेळ पर्यंत आपण पाहिलें कीं उष्णता एका पदार्थांतून दुसऱ्या पदार्थांत केवळ स्पर्शानें मात्र जाते. कारण वायु किंवा द्रव उष्ण होत असतां **प्रापणव्यापारानें** प्रवाह उत्पन्न होतात, त्यांमध्येंही वायु किंवा द्रव यांचा जो भाग उष्ण पदार्थास स्पर्श करितो तो स्पर्शानेंच उष्ण होतो, आणि नंतर तो तेथून जातो व दुसरे भाग त्या ठिकाणीं येतात वहनामध्यें पदार्थांचा प्रत्येक भाग जवळच्या दुसऱ्या भागास स्पर्शानें उष्ण करितो.

परंतु उष्णता जाण्याची याहून अगदीं वेगळी रीति आहे तिजविषयीं आपणास आतां विचार कर्तव्य आहे. **प्रथम** त्याचीं कांहीं उदाहरणें देऊं.

(१) हिवाळ्यांत जेव्हां आपण मोठ्या विस्तवासमोर उभे राहतों किंवा बसतों तेव्हां आपणास अगदीं भाजून टाकण्याजोग्या उष्णतेचा ताप लागतो. तथापि आपण कितीही जवळ उभे असलों तरी आपणास पक्कें माहीत असतें, कीं जी हवा विस्तवाकडे जाते ती अगदीं थंड असते, व तीं आपल्या पाठीस थंड लागते. विस्तवासमोर एक मोठा पडदा मध्यें धरिला तर तत्काळ आपल्या सभोंवतालची सर्व हवा आपणास थंड लागते. पडदा काढतांच पुन्हा एकदम आपणास उष्णता भासूं लागते.



आकृति १०८ वी.

(२) B C ही एक भारमापकाची नळी आहे. हिच्या शिरोभागीं A हा एक फुगा फुगविलेला आहे. यामध्यें T हें उष्णमापक कांच वितळवून असें बसविलेलें आहे कीं, त्याचा a फुगा या नळीच्या फुग्यांत मधोमध आहे. उष्णमापक काळ्या कांचेचें आहे. सर्व नळी पाऱ्यानें भरून उलटी करावी, ह्मणजे पारा उतरून A जागा रिती होईल. आतां जर A जवळ लाल भडक लोखंडी कांब धरिली तर उष्णमापकांतील पारा तत्काळ चढतो.

(३) आपणास सूर्यापासून उष्णता मिळते. तथापि उंच प्रदेशीं हवा फार शीत असते हें पर्वताच्या शिखरावर किंवा विमानांतून वर गेल्या वेळीं अनुभवास येतें. शिवाय सूर्य व पृथ्वी यांच्यामध्यें सर्वत्र हवा नाहीं.

किती जलद जातो हें आपणास प्रत्यक्ष प्रयोगावरून माहीत आहे.

या व दुसऱ्या गोष्टींवरून आपणास समजतें कीं, रित्या जाग्यांतून उष्णता तत्काळ किंवा निदान अत्यंत वेगानें चलन पावते, किंवा हवा अगर दुसरे वायु यांस उष्ण न करितां त्यांतून जाते. उष्णता प्रसरण होण्याची जी ही रीति तिला **किरणविसर्जन** असें ह्मणतात.

जर एका पदार्थास सर्वत्र सारखें उष्ण केलें तर त्यापासून सर्व दिशांनीं सारखी उष्णता विसर्जित होते, आणि साधारणतः उष्णता सरळ रेषांनीं विसर्जित होते.

२२१. विसर्जनाचें स्वरूप—उष्णतेचें जें विसर्जन होतें त्याचा मधील अवकाशाशीं कांहीं संबंध नसतो असें वरील गोष्टींवरून दिसलें. खरा प्रकार कसा आहे हें समजण्यास कांहीं सजातीय उदाहरणें उपयोगीं पडतील.

(१) कोणी ओरडलें, किंवा एखादें वाद्य वाजलें तर लांब अंतरावर कांहीं वेळानें हे ध्वनि ऐकूं येतात, यावरून ध्वनीचें गमन किती त्वरित होतें हें समजतें. दोहों ठिकाणांमधील हवेच्या किंवा दुसऱ्या वायूच्या आंदोलनानें किंवा कंपनानें ध्वनि लांब अंतरावर जातो आणि ध्वनीच्या वहनास हवा किंवा दुसरा वायु याची जरूरी लागते असें सिद्ध करून दाखविण्यांत आलें आहे. ध्वनिविशिष्ट पदार्थांच्या सभोंवतालची हवा तेथून दूर जात नाहीं, आणि ती हवा आपल्याबरोबर ध्वनीस दूर नेत नाहीं. परंतु ध्वनीस मात्र ती पुढें पाठविते; यास्तव या गोष्टीचें उष्णतेच्या विसर्जनाशीं साम्य आहे: परंतु वहनाशीं नाहीं. असाच ध्वनि धातूच्या घनकांबींतूनही जातो.

(२) जर दोन बोटी पाण्यावर असतील आणि त्यांपैकीं एकीस हेलकावे दिले, तर कांहीं वेळानें दुसरीही हेलकावे खाऊं लागेल. तथापि पहिल्या बोटीजवळचें हाललेलें पाणी आपलें पहिलें स्थान सोडून दुसऱ्या बोटीकडे जात नाहीं. कारण दोहों बोटींमध्यें जर एक बुचाचा तुकडा असेल तर तो पुढें जाणार नाहीं. येथें आपल्या नजरेस असें पडतें कीं, एक लहरीची पंक्ति बनते आणि ही लहरीरूपगति मात्र पुढें जाते; पाणी जात नाहीं. पाण्याचा प्रत्येक कण वर खालीं जाऊन एका उभ्या वर्तुळांत (किंवा दीर्घ वर्तुळांत) मात्र फिरतो. परंतु आपलें मूळस्थान एकंदरींत सोडीत नाहीं.

(३) बहुतेक याच रीतीनें लांब दोरीवरूनही लहरीस आपणास पुढें पाठवितां येतें. मधील साधनाचें स्थलांतर न होतां एक प्रकारची गति मात्र पुढें जाते. या व या प्रकारच्या दुसऱ्या गोष्टींत जें चलन घडतें तें लहरीरूप गतीच्या स्वरूपाचें असतें.

२२२. प्रकाश व उष्णता यांविषयीं लहरीरूप कल्पना.—उष्णता व प्रकाश (या दोहोंस एका वर्गांत घातलें पाहिजे असें आपणास पुढें समजेल) अंतरावरून आपणाकडे येत असतां त्यांस आणणारें साधन किंवा लहरी जरी आपल्या नजरेस

पडत नाहींत, तथापि सादृश्यावरून उष्णता व प्रकाश लहरींच्या योगानेंच पुढें जातात अशी कल्पना करून ती कोठवर टिकते तें पाहूं. ही कल्पना अशी आहे:—

(१) ईथर (इंधक) या नांवाचा एक गुरुत्वशून्य व फार चपल असा पातळ पदार्थ सर्वत्र पसरलेला आहे; (कदाचित् हा पदार्थ अत्यंत विरल अशा वायूच्या स्वरूपाचा असावा) व याच्या कंपनानें दोरीवरून जशा लहरी पुढें जातात त्या प्रमाणें उष्णता व प्रकाश एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणीं जातात.

(२) या पदार्थानें सर्व अवकाश व्यापिला आहे, आणि हा सर्व पदार्थांत शिरतो. हा इतका चपल आहे कीं, ज्या प्रकारचीं भांडीं आपणास करितां येतात तसल्या एखाद्या भांड्यांत यास धरून ठेवितां येत नाहीं, व त्यांतून अगदीं काढितांही येत नाहीं. या करितां मागील प्रयोगांत भारमापकाच्या नळीच्या फुग्यांतील निर्वातस्थळीं असलेल्या उष्णमापकास बाहेरील उष्णता याच्या योगानें मिळाली. कारण रिक्त्या जाग्यांत हा ईथर नांवाचा पदार्थ होता.

(३) तथापि या पदार्थाचें चलन साधारण द्रव्याच्या कणांनीं थांबवितां किंवा बदलतां येतें, व त्यास द्रव्यानें चलनही देतां येतें. म्हणून मध्यें धातूचा पत्रा धरून उष्णता व प्रकाश यांस पुढें जाण्याचें बंद करितां येतें. प्रत्येक उष्ण पदार्थ उष्णता विसर्जित करितो, याचा अर्थ हाच कीं तो या ईथर नांवाच्या पदार्थास गति देतो.

किरणविसर्जनाचे प्रयोग करण्यास लागणारीं यंत्रें.

२२२. **लेस्लीचें भेदोष्णमापक**—किरणविसर्जनाचे प्रयोग करण्यास फार सूक्ष्म व नाजूक अशीं यंत्रें व साधनें लागतात. कारण हा वेळ पर्यंत जे आपण प्रयोग केले त्यांहून हे प्रयोग फार सूक्ष्म असतात. सर्वांत साधें व ज्याचा उपयोग फार पूर्वीपासून करीत आले आहेत असें **लेस्लीचें भेदोष्णमापक** यंत्र होय. याचें वर्णन पूर्वी केलें आहे. (क. २१ पहा) म्हणून येथें एवढेंच सांगणें बस आहे कीं, ज्यापेक्षां दोहों फुग्यांच्या उष्णमानामधील अंतर दर्शविण्यासच मात्र याचा उपयोग करितां येतो, त्यापेक्षां एक फुगा चकचकीत धातूच्या पत्र्यानें किंवा दुसऱ्या पडद्यानें उष्णताजनक पदार्थापासून असा आड ठेविला पाहिजे कीं तेणेंकरून तो नियमित व सारख्या उष्णमानावर राहील. दुसरा फुगा काजळानें काळा केला पाहिजे. कारण येणें करून तो विसर्जित उष्णतेस त्वरित शोषण करितो.

२२३. **मेलोनीची उष्णताजन्य विद्युन्माला**—सर्वांत सूक्ष्म अशा ज्या यंत्रांचा साधारणपणें हल्लीं उपयोग करितात व जें यंत्र टिंडाल व दुसरे विद्वान यांच्या हातून मोठ्या पूर्णतेस आलेलें आहे, तें **मेलोनीची उष्णताजन्य विद्युन्माला** हें होय. याचे दोन भाग असतात. त्यांपैकीं एक भाग (माला) विसर्जित उष्णतेस शोषण करितो, आणि त्यापासून विद्युत्प्रवाह उत्पन्न होतो. दुसरा भाग (विद्युन्मापक) विद्युत्प्रवाहाचा जोर चुंबक कांट्याच्या चलनानें मापितो, म्हणून माला ज्या विसर्जित उष्णतेस शोषण करिते तिची तीव्रता दाखविण्यास याचा उपयोग करितां येतो. या दोहोंचें वर्णन तपशीलवार खालीं दिलें आहे. प्रथमतः दुसरें यंत्र घेऊं.

कांट्यावरून दक्षिणेकडून उत्तरेकडे अथवा त्याच्या खालून उत्तरेकडून दक्षिणेकडे विद्युत्प्रवाह गेला, तर कांट्याचा उत्तरध्रुव पश्चिमेकडे वळतो. वस्तुतः तो प्रवाहाशीं काटकोन करूनच स्थिर राहावा. परंतु जसा उत्तरध्रुव पश्चिमेकडे जातो त्याप्रमाणें त्यावरील प्रवाहाचें कार्य कमी होत जातें, आणि त्याच्या पूर्वींच्या स्थितीत परत आणणारें पृथ्वीचें कार्य अधिकाधिक बलवत्तर होतें. यामुळें प्रवाहाशीं काटकोनाकार कांटा स्थिर राहत नाहीं. जर वरच्या उलट कांट्याच्या खालून व वरून प्रवाह गेला तर कांटा दुसऱ्या दिशेस ह्मणजे पूर्वेस वळतो. आणखी असेंही त्यानें काढिलें आहे कीं, कांट्याचें जास्त कमी वळणें प्रवाहाच्या जोरावर अवलंबून असतें. ह्मणून कांट्याच्या वळण्यावरून म्हणजे स्थलांतरावरून प्रवाहाचा जोर किती आहे हें मापितां येतें. यास्तव कांट्याची वळण्याची दिशा आणि त्याचें वळणें यावरून प्रवाहाची दिशा व त्याचा जोर समजतो.

प्रयोग—साधें विद्युन्मापक उदाहरणार्थ **स्पर्शरेषा विद्युन्मापक*** घेऊन वरील गोष्टींची सत्यता सहज पाहतां येते. प्रथम एक चक्र घ्यावें. नंतर अनेक चक्रें घ्यावीं. ज्यांत प्रतिबंध कमी आहे असें स्पर्शरेषा विद्युन्मापक घेतल्यास अनेक चक्रें † परिमाण वाढविण्याजोगीं जोडावीं; ह्मणजे सर्व तांब्याचे पत्रे व जस्ताचे पत्रे असे एकत्र जोडावे.

विद्युत्प्रवाह ज्यावरून समजतो त्या यंत्राविषयीं इतकें सांगितलें. परंतु उष्णतेच्या प्रयोगांसाठीं ज्या यंत्राचा (स्थिर कांट्याचें‡ विद्युन्मापक) उपयोग करितात व जें पुढें आकृतींत दाखविलें आहे तें वर सांगितल्या यंत्रापेक्षां फार बिकट असतें. तें असें केलेलें असतें कीं कांट्यास वळविण्याचें प्रवाहाचें कार्य जास्त व्हावें आणि त्यास मूळ स्थितींत परत आणण्याचें पृथ्वीचें कार्य कमी व्हावें.

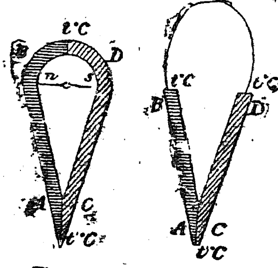
प्रयोग—एक साधें तांबें व जस्त या धातूंचें विद्युच्चक्र घ्यावें आणि त्याच्या प्रवाहाचे परिणाम स्पर्शरेषा विद्युन्मापकावर आणि स्थिर कांट्याच्या विद्युन्मापकावर कसे होतात हें पाहावें म्हणजे दुसऱ्याची मातबरी किती आहे हें सहज लक्षांत येईल.

(२) उष्णताजन्य विद्युन्माला—आतां यंत्राच्या दुसऱ्या भागाचें वर्णन करूं. या यंत्राचा उपयोग फार सूक्ष्म व नाजूक अशा उष्णमापकाप्रमाणें होतो. यांत प्रसरणाच्या योगानें उष्णतेचें मान समजत नाहीं. परंतु उष्णतेनें विद्युत्प्रवाह उत्पन्न होतो, व त्याचा जोर विद्युन्मापकानें समजतो: आणि यावरून उष्णतेचें मान समजतें. ज्याचा प्रयोगास फारसा उपयोग करीत नाहींत असलें साधें यंत्र कसें असतें तें प्रथम सांगूं.

---

* सृष्टिशास्त्र उत्तरार्ध भाग १ पृष्ठ ३१२.
† सदर पृष्ठ २६७.
‡ सदर पृष्ठ ३१०.

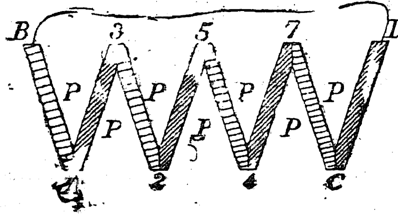
पहिल्या आकृतींत A B आणि C D ह्या भिन्न भिन्न धातूंच्या दोन कांबी आहेत. (आ. १०९ पहा) आणि दोहों शेवटांकडे डांक घालून त्यांस एकमेकांस जोडलेलें आहे. जेव्हां दोन्ही संधि उ° श या सारख्या उष्णमानावर असतात, तेव्हां त्यांत विद्युत्प्रवाह मुळींच नसतो. परंतु जर एका सांध्याचें उष्णमान बदलून उं°श केलें, तर लागलाच विद्युत्प्रवाह त्यांतून वाहूं लागतो; आणि त्यांमध्यें N S चुंबककांटा धरिला तर तो आपल्या दक्षिणोत्तर स्थितींतून वळतो. आणखीं असें ही आढळतें कीं एका सांध्यापेक्षां जास्त किंवा कमी उष्णमानावर जसा दुसरा सांधा ठेवावा, तशी विद्युत्प्रवाहाची दिशा ही भिन्न भिन्न असते.



आकृति १०९ वी.

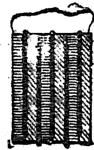
B व D शेवटें डांक घालून न जोडतां त्यांस एका तारेच्या तुकड्यानें दुसऱ्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें जोडिलें, तरी परिणाम तेच होतात. या वेळीं B D या शेवटांचीं उष्णमानें समान ठेवावीं लागतात. कारण तीं दोन्ही मिळून एका सांध्याच्या जागीं असतात.

आतां जर असलीं अनेक चक्रें * (यांसच चक्रें असें म्हणतात) एका जवळ एक अशीं आकृति ११० मध्यें दाखविल्याप्रमाणें जोडून एक सांगड केली आणि B, 3, 5, 7, D. हे संधि उ° श या समान उष्णमानावर ठेविले आणि A, 2, 4, C, दुसरे संधि ( ) उ'° श या समान उष्णमानावर ठेविले, तर वरच्याहून जास्त जोराचे परिणाम अनुभवास येतात. (आ. ११० पहा.)



आकृति ११० वी.

जर P P या पोकळ्यांत कोणते तरी अवाहक पदार्थांचे तुकडे घालून धातूंचा परस्पर संयोग न होऊं देतां जर ही सांगड चपटी केली, तर वरील सांगड (आ. १११ पहा.) बाजूच्या आकृतींत दाखविल्या सारखी थोडक्या जाग्यांत मावण्याजोगी होईल.



असे पुष्कळ जोड घेतले आणि मधील P P......या जाग्यांत अवाहक थर घालून एकावर एक असे रचिले तर त्यांचा एक भरींव चौकोन बनेल. त्याचे १, ३, ५, ७, इत्यादि संधि चौकोनाच्या एका बाजूस व २, ४, ६, ८ हे संधि दुसऱ्या बाजूस आयतेच राहतील.

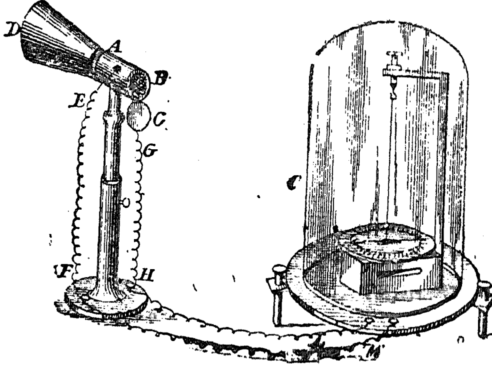
आकृति १११.

---

* सृष्टिशास्त्र उत्तरार्ध प्रकरण ११ व १२ यांत विद्युच्चक्र व विद्युन्माला यांचें वर्णन पहा.

अशी रचना करून एक सांगड बैठकीवर पितळेच्या नळींत बसवितात. नळींत बैठकीवर हवी तशी फिरण्याजोगी ती बसविलेली असते. परस्पर उलट दिशांस म्हणजे समोरा समोर असणाऱ्या सांध्यावर बाहेरील उष्णतेचें कार्य होऊं नये म्हणून त्यांवर बसण्या जोगीं पितळेचीं झांकणें नळीस बसविलेलीं असतात; किंवा नळीच्या दोहों तोंडांवर गळतीच्या आकाराचीं रुंद अशीं शंक्वाकृति नळकांडीं बसविलेलीं असतात. यांच्या योगानें उष्णता परावर्तन पावून सांध्यांवर जास्त जाते. **बिस्मथ** आणि **अंटिमनी** या दोन धातूंच्या कांबी घेतात. सांगडीच्या एका शेवटाकडे बिस्मथची कांब येते व दुसऱ्या शेवटाकडे अंटिमनीची कांब येते. यांस तारा जोडलेल्या असतात. त्या पाहिजे तेव्हां विद्युन्मापकास जोडितां येतात.

दोनही भागांसुद्धां सर्व यंत्र खालीं दाखविलें आहे. (आ. ११२ पहा) वर सांगितल्या-



आकृति ११२ वी.

प्रमाणें A B नळींत उष्णताजन्य विद्युच्चक्रांचा चौक बसविलेला आहे. एकीकडील सांधे आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें B ठिकाणीं उघडे आहेत. नळीस C झांकण बिजागरीनें बसवितां येतें. त्यानें B सांधे हवे तेव्हां झांकतां येतात. दुसरे सांधे A ठिकाणीं उघडे आहेत. या ठिकाणीं शंक्वाकृति ड हा परावर्तक आहे. ज्या वेळीं मंद विसर्जनाची उष्णता A सांध्यांवर घेणें असते त्या वेळीं हा परावर्तक A सांध्यावर बसवितात.

एका कडेच्या बिस्मथच्या तुकड्यांस व दुसऱ्या कडेच्या अंटिमनीच्या तुकड्यांस मढविलेल्या तारा जोडून व नळीच्या दोहों बाजूंतून बाहेर काढून तेथून यंत्राच्या बैठकींतील वरील F व H या स्क्रूंत बसविलेल्या आहेत. नळीस वर खालीं व हव्या त्या दिशेस फिरवितां यावें अशी योजना करून नळी बैठकीवर बसविलेली असते. यामुळें उष्णताजन्यविद्युन्मालेस हवी ती गति देतां येते.

G हें विद्युन्मापक आहे. याजवर कांचेचें गोल आच्छादन आहे, व मापकाच्या बैठकीस तीन स्क्रू आहेत. त्यांच्या योगानें मापक पानसळींत आणितां येतें.

बैठकीवर एक काटकोनाकार वळविलेला दांडा बसवून त्याच्या टोंकास बिनपिळाच्या कच्च्या रेशमाच्या धाग्यानें किंवा कांचेच्या धाग्यानें मापकाचा कांटा (किंवा दोन कांटे, कारण हें मापक स्थिर कांट्यांच्या जोडीचें असतें) टांगिलेला आहे. एक अगदीं हलका दर्शक (हलकी काडी) चुंबक कांट्यास गच्च बसविलेला असतो; व तो कांट्यावर बसविलेल्या वर्तुळाच्या परिघावर पाडलेल्या अंशांवर फिरतो, व त्यावरून कांटा किती अंश वळला हें समजतें. या अंश पाडलेल्या जाड कागदाच्या तुकड्याखालीं तारांचीं वेटाळीं आहेत. त्यांतून प्रवाह गेला म्हणजे कांट्याच्या सभोंवतींही प्रवाह जातो.

मापकाच्या वेटाळ्याच्या तारेचीं टोंकें बैठकींतील L M या स्क्रूंस जोडलेलीं आहेत, व यांस आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें दुसऱ्या दोन तारांनीं F H हे स्क्रू जोडलेले आहेत.

२२५. **उष्णताजन्यविद्युन्मालेचा उपयोग करण्याची रीति.**—प्रथमतः या मालेच्या दोन्ही बाजू काजळ लावून काळ्या कराव्या. कारण येणें करून त्या बाजू उष्णतेस जास्त शोषण करितात. काळ्या केल्यानें उष्णतेचें कसें जास्त शोषण होतें हें पुढें सांगितलें आहे. यंत्राचा उपयोग करण्याची साधारण रीति अशी आहे कीं ज्याचें उष्णमान कायम आहे अशा समोर B बाजू ठेवितात. उदाहरणार्थ ती बाजू हवेंत उघडी ठेवावी, आणि ज्याच्या विसर्जित उष्णतेचें मान पाहणें असेल त्या समोर A बाजू ठेवितात. मात्र एक प्रयोग झाल्यावर दुसरा प्रयोग करण्यापूर्वी माला मूळच्या उष्णमानावर येण्याकरितां कांहीं वेळ जाऊं दिला पाहिजे. नंतर या रीतीनें A भागानें निरनिराळ्या पदार्थांपासून आलेली विसर्जित उष्णता किती किती शोषण केली हें प्रत्येक वेळीं विद्युन्मापकाचा कांटा किती वळला हें पाहून काढितां येतें.

निरनिराळ्या पदार्थांपासून विसर्जित झालेल्या उष्णतांची सूक्ष्म मानानें तुलना करितां येण्यास B बाजूहून A बाजूचें उष्णमान किती वाढविलें, म्हणजे कांटा किती अंशांतून वळतो हा संबंध प्रथमतः माहीत करून घेतला पाहिजे. कारण आतां आम्ही इतकेंच पाहिलें कीं A बाजू उष्ण केल्यानें प्रवाहाचा जोर कांहीं वाढतो. प्रत्यक्ष प्रयोग करून हा संबंध काढिला पाहिजे. या शिवाय दुसरा मार्ग नाहीं. याचें वर्णन **टिंडाल** कृत उष्णतेच्या पुस्तकांत चांगलें केलेलें आहे. ज्यांस म्हणून विसर्जित उष्णतेचा विषय चांगला समजून घेण्याची इच्छा असेल त्यांनीं **टिंडालचें** पुस्तक अवश्य वाचावें.

उष्णतेच्या विसर्जनाचे साधारण नियम.

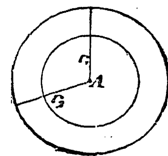
२२६. विसर्जनाच्या प्रयोगांस ज्या साधनांचा म्हणजे यंत्रांचा उपयोग करितात त्यांचें वर्णन केलें. विसर्जनाविषयीं जे मुख्य नियम आहेत ते आतां क्रमानें सांगूं. पुढें आणखी याविषयीं जास्त विवेचन करूं.

२२७. **साधारणतः उष्णता सरळ रेषांनीं विसर्जित होते.**—पुढें असें आपणास समजेल कीं जेव्हां जेव्हां सर्वत्र समान अशा घटनेच्या पदार्थांतून विसर्जन चालतें तेव्हां तेव्हां हा नियम लागू पडतो. परंतु निरनिराळ्या दादर्चाच्या दोन पदार्थांमधील मर्यादा-

प्रयोग—उष्णताजन्यविद्युन्माला आणि उष्णतेनें लाल भडक केलेली लोखंडी गोटी यांस ओळीनें एका रेषेंत मांडूं. या दोहोंमध्यें भोकें असलेले तीन चार पत्रे ठेवूं. यांचीं भोकें जर माला व गोल यांस सांधणाऱ्या सरळ रेषेंत असतील तर मालेवर उष्णतेचे किरण पडतील, आणि त्यांचा परिणाम दृष्टीस पडेल. परंतु जर एखादा पत्रा हालविला तर मालेवर किरण येणार नाहींत व कांटा सरणार नाहीं.

टीप—सर्व पत्र्यांचीं भोकें एका सरळ रेषेंत आहेत किंवा नाहींत, याची परीक्षा करण्याच्या दोन रीति आहेत. (१) एक बारीक दोरा सर्व भोंकांतून घालून ताणून धरिला तर त्याचा कोणत्याहि पत्र्यास स्पर्श झाला नाहीं म्हणजे भोकें एका रेषेंत आहेत असें समजावें. परंतु दोरीच्या वजनामुळें कोठें तरी किंचित् वांकल्याशिवाय ताणून राहण्यास मुष्किल पडतें. (२) दुसरी रीति भोकांतून पाहणें होय. आतां या दुसऱ्या रीतींत आपण असें गृहीत घेतों कीं जे पदार्थ आपणास एका रेषेंत दिसतात, ते एका रेषेंतच वास्तविक असतात; म्हणजे प्रकाशकिरण सरळ रेषांनींच जातात ; हें अन्य रीतींनीं सिद्ध केलेलें आहे. जेव्हां सर्व भोकें एका सरळ रेषेंत दिसतात, तेव्हां त्यांतून उष्णतेचे किरण जातात. यावरून असेंही दिसतें कीं, या ठिकाणीं उष्णता व प्रकाश यांचें वर्तन सारखें असतें. उष्णता आणि प्रकाश यांच्या संबंधाविषयीं पुढें विचार करतेवेळीं याविषयीं अधिक स्पष्टीकरण करूं.

२२८. भिन्न भिन्न अंतरावर उष्णतेच्या एकाच उत्पत्तिस्थानापासून किती उष्णता जाते—उष्णतेचे किरण सरळ रेषांनींच जातात, यास्तव उत्पत्तिस्थानापासून निरनिराळ्या अंतरावर किती उष्णता जाईल हें आपणास काढितां येईल. समजा कीं A ही लाल भडक लोखंडी गोटी आहे. गोटीच्या भोंवतें दोन पोकळ $र_१$ आणि $र_२$ इंच या त्रिज्यांचे गोल आहेत. यांच्या मध्यबिंदूंत गोटी आहे. (आ. ११३ पहा) असें समजूं कीं A गोटीपासून दर सेकंदांत ह परिमाणाची उष्णता विसर्जित होते. तर दर सेकंदास $र_१$ त्रिज्येच्या गोलाच्या अंतर्भागावर इतकी उष्णता पडते. आतां या गोलाच्या आंतील पृष्ठभागाचें क्षेत्रफळ $४र_१^२ \times \frac{२२}{७}$ चौरस इंच असेल. $\frac{२२}{७}$ हा अपूर्णांक **ब** या अक्षरानें दर्शवूं. म्हणजे $र_१$ त्रिज्येच्या गोलाच्या पृष्ठभागाचें क्षेत्रफळ $४\,ब\,र_१^२$ असेल. जर या गोलाच्या प्रत्येक चौरस इंचावर दर सेकंदांत पडणारी उष्णता $उ_१$ धरिली तर—



आकृति ११३ वी.

$$उ_१ = \frac{ह}{४\,ब\,र_१^२}$$

आतां ज्या गोलाची त्रिज्या $र_{२}$ इंच आहे त्या विषयीं विचार करूं. हा पृष्ठभागही सर्व ह उष्णता शोषण करील. याचा एकंदर पृष्ठभाग $४ \, ब \, र_{२}^{२}$ चौरस इंच आहे. म्हणून या गोलाचा प्रत्येक चौरस इंच जी उष्णता शोषण करील ती $उ_{२}$ यानें दर्शविली, तर—

$$उ_{२} = \frac{ह}{४ \, ब \, र_{२}^{२}}$$

यानें पहिल्या समीकरणास भागून.

$$\frac{उ_{१}}{उ_{२}} = \frac{र_{२}^{२}}{र_{१}^{२}}$$

चौरस इंचाच्या बदला दुसरें कोणतेंही क्षेत्र घेतलें तरी हरकत नाहीं. उदाहरणार्थ उष्णमापकाच्या फुग्यानें व्यापिलेला पृष्ठभाग घेतला तरी असाच परिणाम घडेल. यावरून असें दिसतें कीं निरनिराळ्या अंतरावर उष्णमापक ठेविल्यास तें जी उष्णता शोषण करील ती अंतराच्या वर्गाच्या उलट प्रमाणांत असेल; ह्मणूनः—

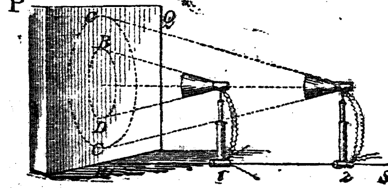
$$\frac{उ_{१}}{उ_{२}} = \frac{र_{२}^{२}}{र_{१}^{२}}$$

हें समीकरण असेंही लिहितां येईल.

$$उ_{१} : उ_{२} :: \frac{१}{र_{१}^{२}} : \frac{१}{र_{२}^{२}}$$

हाच सिद्धांत प्रत्यक्ष प्रयोगानें ही सिद्ध करितां येतो. हा प्रयोग करण्याची मेलोनीनें साधी रीति काढिली आहे.

२२९. **प्रयोगानें या नियमाची सिद्धता**—काटकोन चौकोनाकृति चपटी P Q ही पेटी आहे. व हिचा पृष्ठभाग मोठा आहे. हिजमध्यें पाणी भरून तें पाणी पेटीच्या मागें दिवा ठेवून कढतें ठेविलें आहे. तिचा पुढचा पृष्ठभाग काजळानें काळा केलेला आहे. आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें पेटी लंबाकार उभी (आ. ११४ पहा.)



आकृति ११४ वी.

ठेवलेली आहे. तिच्या पायाच्या R मध्यापासून पायाशीं काटकोन करणारी R S रेषा काढलेली असून तिचे इंचामध्यें किंवा सहस्रांश मात्रांमध्यें भाग पाडलेले आहेत. उष्णताजन्यविद्युन्माला आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें तिच्या शंक्वाकृति परावर्तकासुद्धां निरनिराळ्या अंतरावर ठेवावी. तिच्या परावर्तकाच्या बाजू वाढविल्या असतां जें वर्तुळ पेटीच्या पृष्ठभागावर पडेल त्याचा कोणताही भाग पेटीच्या पृष्ठभागाबाहेर न पडेल इतकी माला जवळ ठेवावी. परावर्तकाची आंतील बाजू ही काळी करावी. या रीतीनें माला निरनिराळ्या अंतरावर ठेविली असतां सर्व अंतरावर विद्युन्मापकाचा कांटा सारखा वळतो असें आढळेल. ह्मणजे मालेच्या पृष्ठभागावर जी उष्णता पडते ती नेहमी सारखी असते.

B D आणि C C′ आहित. तर १ ठिकाणीं माला असतां तिजवर जी उष्णता पडते, ती B D पृष्ठभागापासून पडत आहे. आणि २ ठिकाणीं माला असतां तिजवर C C′ वर्तुळांतील पृष्ठभागापासून उष्णता पडत आहे. चपट्या पेटीच्या R मध्यापासून १ व २ खुणांपर्यंत जीं अंतरें आहेत त्यांस अनुक्रमें $र_१$ आणि $र_२$ अशीं नांवें देऊं. तर भूमिती वरून.

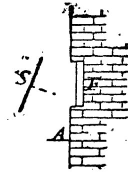
$$\frac{\text{B D वर्तुळाचें क्षेत्रफळ}}{\text{C C′ वर्तुळाचें क्षेत्रफळ}} = \frac{र_१^२}{र_२^२}$$

आतां दोहों ठिकाणीं माला असतां तिला सारखी उष्णता मिळाली आहे. यास्तव थोरल्या वर्तुळापेक्षां ज्या प्रमाणानें धाकट्या वर्तुळाचें क्षेत्रफळ कमी आहे त्याच प्रमाणानें $र^१$ ठिकाणीं माला असतां तिला धाकट्या वर्तुळाच्या प्रत्येक चौरस इंचापासून जी उष्णता मिळाली ती $र_२$ अंतरावर माला असतां थोरल्या वर्तुळाच्या प्रत्येक चौरस इंचापासून जी उष्णता मिळाली तिजपेक्षां कमी असली पाहिजे. कारण जास्त पृष्ठभागापासून जाहलेलें विसर्जन कमी पृष्ठभागाच्या विसर्जनाइतकेंच होण्यास प्रत्येक इंचापासून विसर्जित झालेली उष्णता कमीच असली पाहिजे. तर मात्र दोहोंपासून सारखी उष्णता विसार्जीत होईल. म्हणून—

$$\frac{र_१ \text{ अंतरावर असतां प्रत्येक चौरस इंचापासून विसर्जित जाहलेली उष्णता}}{र_२ \text{ अंतरावर असतां प्रत्येक चौरस इंचापासून विसर्जित जाहलेली उष्णता}} = \frac{र_२^२}{र_१^२}$$

यास्तव कलम २२८ यांत सांगितलेला नियम सिद्ध झाला.

२३०. उष्णतेच्या परावर्तनाचा नियम.—F ही एक विस्तवाची शेगडी आहे. तिच्या बाजूस व जेथें विसर्जित उष्णता सरळ रेषेंत येत नाहीं अशा A ठिकाणीं आपण उभे आहों, तर आतां जर एखादा मनुष्य एकाएकीं चकचकीत कथलाचा परावर्तक S आकृतींत दाखविल्या ठिकाणीं धरील तर लागलीच A ठिकाणीं आपणास उष्णता जोरानें भासूं लागेल. पत्रा उष्ण होण्यास पुष्कळ वेळ लागेल. परंतु तो उष्ण होण्यापूर्वीच आपणास उष्णतेचा ताप लागेल. यावरून हें उघड आहे कीं विस्तवापासून उष्णता पत्र्यावर पडते, व तेथून परावर्तन पावून आपणाकडे येते.

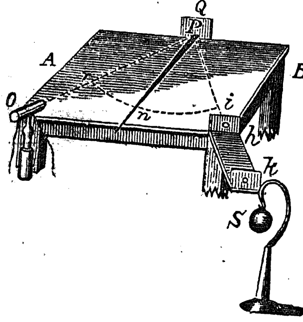


आकृति ११९ वी.

टीप—आकृतींत आह्मी वरून खालीं पाहात आहों असें कल्पिलें आहे. वर जें दाखविलें त्यासच उष्णतेचें परावर्तन म्हणतात. S पत्रा उष्ण होऊन त्यापासून A कडे जें उष्णताविसर्जन होईल त्यापासून हें परावर्तन अगदीं भिन्न आहे. कारण S पत्रा विस्तवापुढें धरितांच तो उष्ण होण्यापूर्वीं वरील प्रकार घडतो.

चकचकीत पत्र्यांत विस्तवाचें प्रतिबिंब दिसूं लागतांच आपणास अत्यंत उष्णतेचा भास होतो. म्हणजे अशा या स्थूल प्रयोगावरून सुद्धां उष्णता व प्रकाश एकदम परावर्तन पावतात हें आपणास समजतें. परंतु उष्णतेच्या व प्रकाशाच्या परावर्तनाचे नियम एकच आहेत किंवा नाहींत याची प्रचीति अधिक चांगल्या रीतीनें घेणें अवश्य आहे. प्रकाशाच्या परावर्तनाचे नियम पूर्वींच समजले आहेत. कारण प्रकाशाचें परावर्तन कोणत्या दिशेनें होतें हें मापणें फारसें कठीण नाहीं. हें मापण्यास आपणास आपल्या दृष्टीचा उपयोग करितां येतो. परंतु अदृश्य उष्णतेस मापणें व तिच्या परावर्तनाविषयीं नियम काढणें कठीण आहे. कारण उष्णताजन्यमाला डोळ्यां इतकें सूक्ष्म यंत्र नसून केवळ स्थूल यंत्र आहे.

२३१. **प्रयोग**—वर सांगितल्या टिंडालच्या बुकांतूनच पुढील प्रयोग घेतला आहे. A B हें चौकोनी सपाट टेबल आहे. (आ. ११६ पहा). याच्या एका बाजूच्या मध्यावर P Q हा रुप्याचा किंवा दुसऱ्या धातूचा चकचकीत पत्रा एका फिरकींत फिरण्याजोगा आणि सरळ उभा लंबोत्तर राहण्या जोगा बसविलेला आहे. P N हा लांब कांटा पत्र्याशीं काटकोन करण्याजोगा त्यावर बसविला आहे. जेव्हां P Q पत्रा टेबलाच्या कडेशीं समांतर असतो तेव्हां या कांट्याचें N टोंक टेबलाच्या समोरच्या कडेच्या मध्यबिंदूवर असतें. P Q पत्रा उजवीकडे किंवा डावीकडे फिरतो तसा कांटाही टेबलाच्या पृष्ठभागावर फिरतो.



आकृति ११६ वी.

टेबलाच्या एका कोंपऱ्यावर O ही उष्णताजन्य विद्युन्माला आहे. हिचें तोंड पत्र्याच्या P मध्य बिंदूच्या समोर आहे. दुसऱ्या कोंपऱ्यावर भोंकें असलेलें व बैठकीवर बसविलेले पडदे असे ठेविले आहेत, व त्यांचीं भोंकें अशीं आहेत कीं त्या दोहों भोंकांतून जाणारी रेषा पत्र्याच्या P मध्यांतून जाते. दोहों भोंकांतून जाणाऱ्या रेषेच्या खालीं एक आणि मालेचा मध्यबिंदु व पत्र्याचा मध्यबिंदू यांस जोडणाऱ्या रेषेच्या खालीं दुसरी अशा टेबलाच्या पृष्ठभागावर टिंबांच्या रेषा काढिल्या आहेत. या रेषा टेबलाच्या दोहों कोपऱ्यांतून जातील, आणि समोरच्या कोपऱ्यांच्या मध्यावर ह्मणजे परावर्तक पत्र्याच्या P मध्याखालीं एकत्र मिळतील. या दोन रेषा जेथें मिळतात, तो मध्यबिंदु कल्पून टेबलावर एक वर्तुळ काढिलें आहे, व त्याचे अंशांत विभाग केले आहेत. S हा लाल भडक गोळा आहे, व त्यापासून उष्णतेचे किरण विसर्जनानें जात आहेत. यांपैकीं उष्णतेचा एक किरण पडद्याच्या दोहों भोंकांतून थेट परावर्तकाच्या प बिंदूवर पडत आहे. या किरणाचें कोणत्या नियमानें परावर्तन होत आहे हें आपणास काढणें आहे.

प्रथम जर N P कांट्यास वर उचललें, व त्याबरोबर पत्रा उचलला तर कोण-

त्या स्थितींत मालेवर उष्णतेचे किरण पडत नाहींत. परंतु कांटा जर टेबलावर समांतर असा आडवा राहिला तर मालेवर उष्णता परावर्तित होते. ज्या मानानें किरण पत्र्यावर वक्र पडेल त्या मानानें जास्त किंवा कमी उष्णता परावर्तित होईल. याप्रमाणें अनेक स्थितींत जपून प्रयोग केला, म्हणजे पुढील नियम सिद्ध होईल.

(१) पतनकिरण, किरणपरावर्तकाच्या ज्या बिंदूवर पडतो त्यांतून काढलेला परावर्तकावरील लंब आणि परावृत्तकिरण एका पातळींत असतात.

याचा अर्थ असा कीं जर आपण पतनकिरण आणि परावर्तकावरील लंब या दोहोंतून जाणारी पातळी काढिली तर तिजमध्यें कोठेंतरी परावृत्त किरण असेल. जर परावर्तक पत्र्यास थोडें वर उचललें किंवा त्यास मागें कलतें धरिलें तर परावृत्त किरण मालेच्या वरून कोठून तरी जाईल आणि मालेवर पडणार नाहीं.

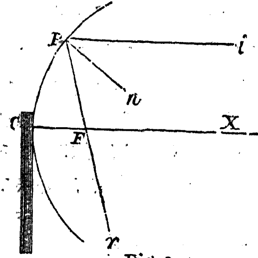
परावर्तक पत्र्यास उभ्या आंसावर फिरवीत असतां कांटा कोणत्या स्थितींत असला म्हणजे अतिशय उष्णता मालेवर परावृत्त होते तें पाहूं. जेव्हां विद्युन्मापकाचा कांटा जास्त वळेल तेव्हां जास्त उष्णता मालेवर परावृत्त झाली असें समजेल. J आणि I या बिंदूंच्या बरोबर मध्यभागीं जेव्हां कांटा असेल तेव्हांच अतिशय उष्णता परावृत्त होते असें आढळेल. अशा स्थितींत पतन किरण I P दिशेनें जातो, आणि परावृत्त किरण P R दिशेनें जातो. म्हणून:—

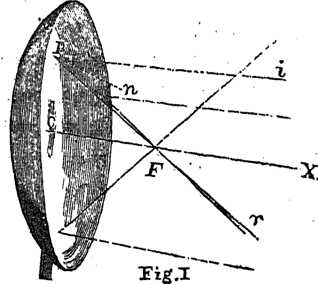
(२) पतन आणि परावृत्त किरण परावर्तकावरील लंबाशीं सारखे कोन करितात.

उष्णतेच्या परावर्तनाचे हे दोन नियम होत. हे ध्यानांत ठेवण्यास फार कठीण नाहींत; कारण स्थूल मानानें जी गोष्ट खरी असें आपण गृहीत घेत असतों तिजसारखेच आहेत. बिलियर्डच्या खेळांत गोटीवर स्क्रू बसविलेला नसला, तर टेबलाच्या गादीपासून किंवा दुसऱ्या गोटीपासून असाच मागें वळतो किंवा परावृत्त होतो. ध्वनीही याच नियमांनीं परावर्तन पावतो. यांत विशेष गोष्ट ही आहे कीं, प्रकाशाचें परावर्तन अगदीं थेट याच नियमांनीं घडतें, आणि प्रकाश व उष्णता या दोहोंच्या कार्यांत साम्य असतें या म्हणण्यास अधिक दृढीकरण येतें. प्रकाशाच्या संबंधानें ही गोष्ट आपणास याच यंत्रानें सहज दाखवितां येते. जेथें S ही लाल गोटी आहे तेथें मेणबत्ती धरिली म्हणजे मालेवर प्रकाश थेट उष्णतेप्रमाणेंच पडतो.

२३२. **उष्णतेच्या परावर्तनाचे नियम स्पष्ट करण्याची परावलाच्या आकाराच्या आरशांची जोडी**—हे नियम याहून सोप्या रीतीनें परंतु मनावर जास्त ठसण्याजोगे स्पष्ट करून दाखवितां येतात. खालीं पहिल्या आकृतींत परावलाच्या आकाराचा अंतर गोल आरसा दाखविला आहे. ह्या आकारानें आरशाच्या अंगीं पुढील धर्म येतात. आरशाचा जो मध्यबिंदु C त्यापासून आरशाशीं काटकोन करणारी एक रेषा काढा. (जर आपण आरशाचें अत्यंत लहान क्षेत्र घेतलें, तर C बिंदु स्थळीं आरसा सपाट आहे, असें मानितां येईल.) ह्या रेषेस आरशाचा आंस असें म्हणतात. या आंसाच्या भोंवतीं आरसा सरूप आहे. म्हणजे आंसामधून जाणारी कोणतीही पातळी आरशास छेदील तर आरशाचे सजातीय आकाराचे वक्र भाग पडतील.

आंसाशीं समांतर आणि आरशास P बिंदु स्थळीं मिळणारी अशी i P रेषा काढ.





आकृति ११८ वी. **आकृति ११७ वी.**

P बिंदु स्थळींचा आरशाचा अति लहान भाग सपाट आहे, असें समजून त्या स्थळीं त्या सपाट भागाशीं काटकोन करणारी अशी P बिंदुपासून P n लंबरेषा काढ. या लंबरेषेस आरशाचा P बिंदुस्थळींचा **नार्मल** असें ह्मणतात. आतां ज्या पातळींत i P आणि Pn या रेषा आहेत, त्याच पातळींत ipn एवढाच npr कोन करणारी Pr रेषा काढ. नंतर आरशाच्या विशेष आकारामुळें त्याच्या अंगीं जो धर्म आहे त्यावरून Pr रेषा काढिली आहे, त्या सारख्या दुसऱ्या अनेक रेषा काढिल्यास त्या सर्व C X आंसास एकाच F बिंदूंत छेदितील. ह्या बिंदूस आरशाचा **फोकस** किंवा **केंद्र** असें म्हणतात. दुसऱ्या आकृतींत आरशाचें छिन्न घेऊन आकृति दाखविली आहे.

आतां मागील कलमांत सांगितलेल्या प्रयोगानें उष्णतेच्या परावर्तनाचे जे दोन नियम सिद्ध केले, ते जर सर्व व्यापक असतील, तर वर सांगितल्या धर्मावरून अशा आरशावर C X आंसाशीं समांतर असे जे उष्णतेचे किरण पडतील, ते परावर्तन पावून सर्व F केंद्रांतून जातील. आणि येणें करून केंद्रांत उष्णतेचें एकीकरण होईल; आणि जर उष्णतेचे किरण केंद्रांत ठेविलेल्या उष्ण पदार्थापासून निघतील, तर ते आरशावर पडून तेथून परावर्तन पावून C X आंसाशीं समांतर अशा दिशांनीं जातील.

२३३. **अशा दोन आरशांचा कलम २३५** यांत जो पुढें प्रयोग सांगितला आहे, तो हे परिणाम प्रत्यक्ष घडतात, किंवा नाहीं हें पाहण्याकरितां आहे. जर असे परिणाम घडतील, तर वर परावर्तनाचे जे नियम सांगितले, त्यांचें पुष्टीकरण होईल.

वर वर्णन केल्या प्रकारचे दोन आरसे कलम २३५ यांतील आकृतींत दाखविले आहेत. ते समोरासमोर असे ठेविले आहेत कीं, C C′ ही एकच सरळरेषा प्रत्येकाचा आंस दर्शविते. वर जे आरशाचे धर्म सांगितले त्यांवरून असें निष्पन्न होतें कीं, जर उष्णतेच्या परावर्तनाचे वर दिलेले नियम खरे असतील तर एका आरशाच्या F केंद्रापासून निघालेले किरण त्याच्या आंसाशीं समांतर असे परावर्तन पावल्यावर

दुसऱ्या आरशावर त्याच्या आंसाशीं समांतर असे पडतील; आणि तेथून परावर्तन पावल्यावर दुसऱ्या आरशाच्या F′ केंद्रांतून जातील. आणि तसेच F′ केंद्रांतून निघालेले किरण F केंद्रांतून जातील. परावर्तनाचे वरील नियम उष्णतेच्या किरणांस लागू आहेत असें समजून जेव्हां कोणत्याही एकाच्या केंद्रांतून निघालेले किरण दोन वेळ परावर्तन पावून दुसऱ्याच्या केंद्रांतून जातील असा संबंध ज्यांच्या केंद्रांत परस्पर आहे, अशा रीतीनें ठेविलेले जे दोन आरसे त्यांस **कांजूगेट** किंवा **सरूप** असें म्हणतात.

२३४. **सरूप आरशांची परीक्षा**—प्रकाशास हे नियम लागू आहेत असें ज्या अर्थी आपणास माहीत आहे, त्या अर्थी दोन्ही आरसे समोरा समोर सरूप स्थितींत आणण्यास त्या गोष्टीचा उपयोग करितां येतो.

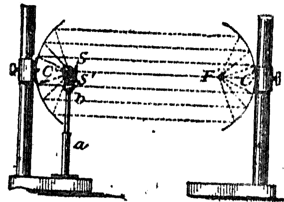
(१) प्रत्येक आरशापुढें कागद धरून कोणत्या ठिकाणीं त्यावर प्रकाशाचा अत्यंत चकचकीत बिंदु किंवा अंतरावरच्या दिव्याची प्रतिमा कागदावर पडते तें पाहून प्रत्येकाचा केंद्र आपणास काढितां येतो. अंतरावरचा दिवा आरशाच्या आसांत राहील आणि म्हणून आरशावर उष्णतेचे किरण आंसाशीं समांतर अशा दिशेनें पडतील, असा आरसा ठेवून केंद्रबिंदु काढावा, आणि बैठकींतील अ ब दांडा खालवर सारून त्याचें टोंक बरोबर केंद्रांत आणावें. (२) नंतर या बैठकीच्या टोंकावर मेणबत्तीचा तुकडा असा बसवावा कीं, तिची ज्योत केंद्रांत येईल; म्हणजे तिचे किरण आरशावर पडून आंसाशीं समांतर अशा दिशेनें परावर्तन पावतील. नंतर दुसरा आरसा या समोर असा ठेवावा कीं, पहिल्या केंद्रांत असलेल्या मेणबत्तीची स्पष्ट प्रतिमा समोरच्या आरशाच्या केंद्रांत धरलेल्या कागदाच्या तुकड्यावर पडेल. या रीतीनें दोनही आरसे सरूप स्थितींत आणून पुढील प्रयोग करावा.

२३५. **प्रयोग**—आरशांस सरूप स्थितींत ठेवून व त्यांचे केंद्र काढून खालीं लिहिल्याप्रमाणें प्रयोग करण्यास आरंभ करावा. a b बैठकीवर उष्ण केलेली लोखंडाची थोरली गोटी अशी ठेवावी कीं, तिचा मध्य बहुतेक केंद्रांत येईल.

टीप—ज्यास बरोबर F केंद्रांत ठेवितां येईल असा एक बिंदूच उष्णताजन्य पदार्थ वास्तविकपणें असला पाहिजे. परंतु आपणास नियमित आकाराच्या गोटींचा उपयोग करावा लागतो म्हणून गोटीचा मध्य आणि आरशा जवळील गोटीच्या पृष्ठभागाचा बिंदु यांच्या साधारणपणें मधोमध खरा केंद्र येईल अशा रीतीनें गोटी ठेवणें हें उत्तम होय.

S S′ हा एक धातूचा चकचकीत पत्रा गोटीच्या दुसऱ्या बाजूस किरण दुसऱ्या आरशावर पडूं नये म्हणून बसविलेला आहे.

आतां एक भेदोष्णमापक घेऊन (क. २१ पहा) त्याचा एक A फुगा कागदानें किंवा दुसऱ्या अवाहक पदार्थानें आच्छादावा व दुसरा B फुगा काजळानें काळा करून तो दुसऱ्या आरशापुढें धरून कोणत्या ठिकाणीं अतिशय



आकृति ११९ वी.

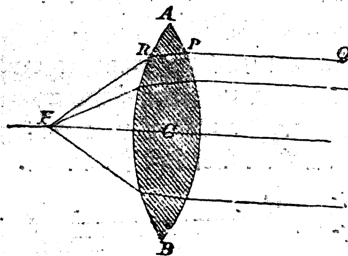
उष्णता असते, हें काढावें. म्हणजे असें आढळेल कीं, मेणबत्तीच्या साहाय्यानें काढलेला जो F′ केंद्र त्याच ठिकाणीं अत्यंत उष्णता असते. त्याची प्रचीति पाहण्याकरितां अत्यंत उष्णतेच्या ठिकाणीं B फुगा ठेवून दुसऱ्या आरशापुढील उष्ण गोटी काढून त्या ठिकाणीं ज्योत F केंद्रांत येईल अशी एक मेणबत्ती ठेवावी म्हणजे ज्योतीची प्रतिमा B फुग्यावर पडत आहे असें स्पष्ट दिसेल.

२३६. या प्रयोगापासून निघालेलें अनुमान.—कलम २३१ यांत सांगितलेल्या दोन नियमांप्रमाणेंच उष्णतेचे किरण परावर्तन पावतात, असें आपण वर दाखविलें. प्रकाश याच नियमांनीं परावर्तन पावतो, याविषयीं जें आपणास पूर्वी ज्ञान झालें होतें, त्याचा उपयोग हा प्रयोग करण्यास झाला. यास्तव कलम २३१ यांतील प्रयोगापासून साक्षात् निघालेले जे दोन नियम ते या प्रयोगानें पूर्णपणें स्थापित झाले.

प्रयोग—हाच प्रयोग दुसऱ्या रीतीनेंही आपणास करितां येतो. या करितां एका आरशाच्या F केंद्रांत मेणबत्ती किंवा दुसऱ्या ज्वालाग्राही वायूची ज्योत ठेवावी, आणि दुसऱ्या आरशाजवळ अत्यंत उष्ण स्थळ काढण्याकरितां उष्णताजन्य मालेचें काळें केलेलें तोंड धरावें; म्हणजे आपणास असें आढळेल कीं; ज्या ठिकाणीं मालेच्या तोंडावर ज्योतीची स्पष्ट प्रतिमा पडते,त्याच ठिकाणीं अत्यंत उष्णतेचा भास होतो. म्हणजे जेव्हां F केंद्रांत मालेचें तोंड असतें, तेव्हां माला अत्यंत उष्णता दर्शविते.

या प्रयोगाच्या मुख्य उद्देशाविषयीं सांगतांना २३२—२३६ या कलमांत पुष्कळ पुनरोक्ति झाली आहे; ही पुनरोक्ति जरूर होती. कारण २३१ कलमांत दिलेले नियम त्या प्रयोगानें स्थापित होतात ही गोष्ट सहजीं लक्षांत येण्याजोगी नव्हती. मुख्य गोष्ट झांकून जाण्याजोगा इतका दुसरा तपशील आलेला आहे कीं, ही सहजी लक्षांत येणार नाहीं.

२३७. उष्णतेचें वक्रीभवन—आम्हीं वर सांगितलें कीं, सर्वत्र ज्याचें दार्ढ्य सारखें आहे, व जो सर्व एकाच जातीचा आहे, अशा पदार्थांतून उदाहरणार्थ सर्वत्र समान दाबाखालीं व समान उष्णमानावर असलेल्या हवेंतून उष्णतेचे किरण सरळरेषांनीं जातात. परंतु उष्णतेचे किरण एका पदार्थांतून येऊन दुसऱ्या पदार्थावर वक्र पडले तर त्याच रेषेंतून सरळ पुढें त्यांतून न जातां उजवीकडे किंवा डावीकडे वळतात. बाजूच्या आकृतींत A B साध्या कांचेच्या लेन्साचें छिन्न दाखविलें आहे. म्हणजे तें बाजूकडून जसें दिसेल, तसें दाखविलें आहे. (आकृति १२० पहा.)



आकृति १२० वी.

C हा त्याचा मध्यबिंदु आहे, आणि लेन्साच्या दोहों पृष्ठभागांशीं काटकोन करणारी व C बिंदूंतून जाणारी अशी F C रेषा आहे. या रेषेस लेन्साचा आंस असें म्हणतात.

असें समजूं कीं, Q P किरण या आंसाशीं समांतर असा येऊन लेन्सावर पडतो. हा किरण हवेंतून येतो, आणि जास्त दाट्योच्या कांचेच्या पृष्ठभागावर वांकडा पडतो, तेथें म्हणजे पृष्ठभागीं P ठिकाणीं त्याची दिशा बदलून P R दिशेनें कांचेंतून बाहेर पडतो. कांचेंतून जातांनाही हवेंतल्याप्रमाणेंच त्याची गति सरळ रेषेंत असते. कांचेंतून बाहेर पडतांच पुनः कमी दाट्याची जी हवा त्या हवेच्या पृष्ठभागावर पुनः वांकडा पडतो म्हणून त्याचें पुनः तेथें वक्रीभवन होऊन R F दिशेनें जाऊन आंसास F ठिकाणीं छेदितो. लेन्सें अशा आकाराचीं केलेलीं असतात कीं, Q P सारखे जे सर्व किरण आंसाशीं समांतर असे लेन्सावर पडतील, ते कांचेंतून जातांना असें वक्रीभवन पावतात कीं, ते सर्व एकाच F बिंदूंतून अखेर जातात.

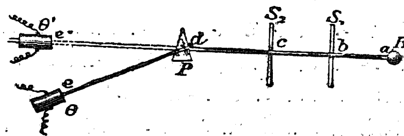
उष्णतेचे किरण आपला सरळ रेषेंतील मार्ग सोडून वक्र पावतात, याचें हें विशेष उदाहरण अशा करितां सांगितलें आहे कीं, त्याची प्रतीति सहज प्रयोगद्वारा पाहतां येते.

प्रयोग १—सूर्य आपणापासून फार अंतरावर असल्यामुळें त्याजपासून येणारे किरण साधारणतः परस्पर समांतर असतात असें मानल्यास हरकत नाहीं. सूर्याकडे एक बाजू करून असें एक लेन्स धरिलें तर आपणास असें आढळतें कीं एका विशेष स्थळीं उष्णतेचें इतकें एकीकरण होतें कीं, त्या ठिकाणीं कागद काळा होऊन पेटतो.

या प्रयोगांत आणखी एक गोष्ट नजरेस येईल कीं, त्याच ठिकाणीं प्रकाशाचेंही एकीकरण होतें.

उष्णताजन्यमाला आणि दुसरे उष्णताजन्य पदार्थ घेऊन उष्णतेचें वक्रीभवन दाखविण्यास याहून सूक्ष्म प्रयोग करितां येतात. तसला एक प्रयोग आम्ही येथें देतों. (जर मिळतील तर सैंधवाचीं लेन्सें व प्रिझमें (त्रिकोणी भिंगें) यांचा उपयोग करावा.)

प्रयोग २—कलम २३१ यांतील प्रयोगांतल्या प्रमाणें B ही लाल भडक गोटी आहे. तिच्यापुढें S_1 S_2 हे दोन मध्यें पडदे आहेत, व त्यांस गोटीसमोर c, b छिद्रें आहेत व त्यांतून ज्यास आपण उष्णतेचा किरण म्हणतों, तसला किरण पलीकडे जातो.



आकृति १२१ वी.

हा किरण छोट्या उष्णमालेच्या तोंडावर पडावा अशी आपली इच्छा असेल तर साधारणतः B b c d é या सरळ रेषेंत é ठिकाणीं दाखविल्याप्रमाणें मालेस ठेविलें पाहिजे.

परंतु किरणाच्या मार्गांत d ठिकाणीं पाचराच्या आकाराचा P हा कांचेचा त्रिकोणी तुकडा (ज्यास प्रिझम असें म्हणतात.) आपण आतां ठेवूं. वरील प्रयोगांत दाखविलेल्या लेन्साच्या वरच्या अर्धासारखा हा तुकडा आहे. म्हणून किरण त्याचप्रमाणें सरळ मार्गास सोडून त्यांतून वक्र मार्गानें बाहेर पडेल. आतां é ठिकाणीं ठेवलेली माला कांहीं उष्णता दर्शवीत नाहीं. यावरून या गोष्टीची प्रतीति

येते. आणि तीच माला e ठिकाणा सारख्या एका ठिकाणीं ठेविल्यास तिजपासून उष्णतेचें ज्ञान होतें.

२३८. **वक्रीभवनाचे नियम**—प्रकाशशास्त्राचें अध्ययन करितांना वक्रीभवनाच्या नियमांचें ज्ञान चांगलें उत्तम करून घेतां येतें. त्या नियमांचा या पुस्तकांत आह्मी बारिक रीतीनें विचार करीत नाहीं. उष्णताशास्त्रांत फार महत्वाच्या अशा कांहीं गोष्टी समजण्या पुरतामात्र वक्रीभवनाचा विचार केला आहे.

२३९. **किरणविसर्जनानें शीत होणें व उष्ण होणें ह्मणजे उष्णता जाणें व येणें.**—आह्मी मागें सांगितलें कीं, जोंपर्यंत पदार्थ भिन्नभिन्न उष्णमानाचे असतात, तोंपर्यंत ते परस्पर सन्निध म्हणजे एकमेकांस लागलेले असे असतां एकांतून दुसऱ्यांत उष्णता जाण्याचा व्यापार चालतो. वस्तुतः याच व्यापारावरून दोहों उष्णमानांमधील अंतर याची व्याख्या आह्मी दिली आहे. सान्निध्यानें व वहनानें एकांतून दुसऱ्यांत उष्णता जाण्याची ही गोष्ट झाली.

आतां जर उष्णमापकासारखा एकादा पदार्थ एका खोलींत ठेविला, (खोली वायूनें भरलेली असो किंवा रिती असो) तर असें नजरेस येतें कीं, खोलीच्या भिंती, जमीन, छत, आणि उष्णमापक हीं सर्व एकाच उष्णमानावर येतात.

ही गोष्ट अधिक स्पष्ट करण्याकरितां असें समजा कीं, ज्िच्या भिंती, छत, आणि जमीन, यां सर्वांचें उष्णमान सारखें उ°श. आहे अशी एक खोली आहे. आतां याच खोलींत उं°श. उष्णमानाचा एकादा पदार्थ किंवा उष्णमापक ठेविलें, (उ°श पेक्षां उं°श जास्त किंवा कमी असो) तर तें उष्णमापक किंवा तो पदार्थ याचें उष्णमान खोलीच्या भिंतीच्या इतकें म्हणजे उ°श होईपर्यंत उतरेल किंवा चढेल. हें वाढणें किंवा उतरणें बहुतेक किरणविसर्जनामुळें घडतें. खरोखर खोली जर अगदीं रिती असली, तर तें सर्वस्वी किरणविसर्जनामुळेंच असेल.

२४०. **हवेचें उष्णमान**—अखेरीस पदार्थास जें हें उष्णमान येतें, त्यास **सभोंवतालच्या पदार्थाशीं तुल्यता आणणारें उष्णमान** असें म्हणतात. परंतु साधारणतः सर्व अवकाश हवेनें व्यापिलेला असतो, म्हणून या उष्णमानास **हवेचें उष्णमान** असेंही ह्मणण्याची चाल आहे. जर सान्निध्यानें आणि प्रापणानें उत्पन्न झालेल्या प्रवाहांनीं भिंतीच्या इतकें उष्णमान हवेस येण्या पुरता बराच काळ जाऊं दिला असेल, तर हें ह्मणणें बरोबर होईल. परंतु उष्णमापक उ°श उष्णमानावर येतें तें मुख्यत्वें किरणविसर्जनानेंच घडतें, ही गोष्ट लक्षांत ठेविली पाहिजे. नाहीं तर कित्येक वेळां हवेंत ठेविलेला अमका पदार्थ हवेच्या उष्णमानावर आहे असें म्हणणें मोठें चुकीचें होईल. उदाहरणार्थ जर एक उष्णमापक उन्हांत किंवा विस्तवाजवळ धरिलें, तर त्या वरील हवेच्या उष्णमानाहून अगदीं भिन्न असें उष्णमान उष्णमापकावरून नजरेस येतें.

तथापि ज्या अर्थी आपण आपले प्रयोग ज्या खोल्यांचें उष्णमान सारखें असतें, म्हणजे जेथील हवेचें उष्णमान भिंतीच्या उष्णमानाइतकेंच बहुतेक असतें अशा खो-

त्यांतच करितों, त्या अर्थी खोलींत ठेविलेल्या उष्णमापकाचें जें उ°श उष्णमान होतें त्यासच हवेचें उ° उष्णमान असें आपण म्हणत जाऊं.

२४१. **शीतोष्ण होण्याचा न्यूटनचा नियम**.—हवेच्या उ°श. उष्णमानापेक्षां एखाद्या पदार्थाचें उ°श उष्णमान जसें जास्त किंवा कमी असेल, त्या मानानें पदार्थांतील उष्णता अधिक जलदीनें किंवा अधिक सावकाश जाईल, म्हणजे पदार्थ शीत होईल किंवा उष्ण होईल. हें शीत होणें किंवा उष्ण होणें एका साध्या नियमास अनुसरून घडतें असें न्यूटन यानें शोधून काढिलें आहे. तो नियम खालीं दिला आहे. आलीकडे असें समजण्यांत आलें आहे कीं, हा नियम सर्वांशीं खरा नाहीं. परंतु जेव्हां उ° आणि उं° या उष्णमानांमधील अंतर फार नसतें तेव्हां हा नियम बराच लागू पडतो. जर उं° आणि उ° या उष्णमानांमधील अंतर दर्शविण्यास एक अ अक्षर घेतलें, (म्हणजे अ=उं—उ) तर तो नियम असा लिहितां येतो.

दोहों पदार्थांमधील एकाचें उष्णमान चढणें किंवा उतरणें याचें मान त्या दोहोंच्या उष्णमानांमधील अंतराच्या प्रमाणांत असतें.

एक उदाहरण घेतलें म्हणजे हा नियम लक्षांत येईल. असें समजा कीं, हवेचें उष्णमान १९° श. आहे; आणि एका उष्णमापकास ४०°श. पर्यंत उष्ण करून त्यास हवेंत शीत होण्यास ठेविलें. ४०° श. पासून ३८° श. पर्यंत उष्णमान उतरण्यास किती काळ लागतो तो पहावा. समजा कीं, ९ सेकंद लागले. आतां त्याचें सरासरी उष्णमान ३९°श. आहे. म्हणजे या वेळीं हवेपेक्षां $अ_1=२०°$ इतकें उष्णमान जास्त आहे.

नंतर जर ३०°श. पासून २८°श. पर्यंत उष्णमान उतरण्यास किती काळ लागतो हें आपण पाहिलें तर ४ सेकंद लागतात असें अनुभवास येतें. या वेळीं सरासरी उष्णमान २९°श. आहे. म्हणून हवेचें उष्णमान व हें उष्णमान यांमधील अंतर $अ_2=१०$ झालें.

याचा अर्थ असा कीं, उष्णमानांमधील अंतर १०° असतां उष्णमान उतरण्याचें जें मान होतें त्याच्या दुप्पट २०° अंतर असतां उष्णमान उतरण्याचें मान होतें.

प्रयोग—हा प्रयोग सहज करितां येतो. ज्याचा फुगा फार मोठा व चकचकीत आहे, असें एक उष्णमापक घ्यावें, आणि त्याचें उष्णमान हवेच्या उष्णमानापेक्षां १०° हून जास्त चढवूं नये. येणेंकरून उष्णमापक सावकाश शीत होईल आणि २° उष्णमान उतरण्यास जो काळ लागेल तो बरोबर मापण्याजोगा मोठा असेल. उष्णमापक ९° पासून ७° पर्यंत उतरण्यास किती काळ लागतो तो पहावा. या वेळीं हवा व उष्णमापक यांच्या उष्णमानांमधील सरासरी अंतर ८° असतें. नंतर ५° पासून ३° पर्यंत उतरण्यास किती काळ लागतो तो पाहावा. या वेळीं उष्णमानांमधील सरासरी अंतर ४° असतें. दोन्ही वेळां किती काळ लागतो याची तुलना केली, तर आपणास असें आढळेल कीं, दुसऱ्या वेळीं पहिल्याच्या दुप्पट काळ लागतो.

नंतर ११° अंतरापासून ९° अंतर होण्यास म्हणजे जेव्हां सरासरी अंतर १०°

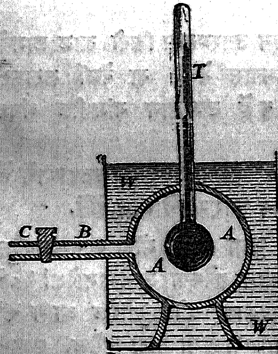
असतें, तेव्हां किती काळ लागतो तो पाहावा. नंतर ६° अंश पासून ४° अंतर होण्यास म्हणजे जेव्हां सरासरी अंतर ५° असतें तेव्हां किती काळ लागतो तो पाहावा. याप्रमाणें या नियमाची प्रचीति घ्यावी.

याचप्रमाणें हवेच्या उष्णमानापेक्षां पदार्थाचें उष्णमान कमी असतां (मात्र फार कमी असूं नये) त्याचें उष्णमान वाढण्यास किती काळ लागतो, हें पाहिलें असतांही वरील नियमाची सत्यता अनुभवास येईल.

टीप—हवेंत किंवा दुसऱ्या वायूंत जेव्हां एकादा पदार्थ शीत होतो, तेव्हां तो मुख्यत्वें किरणविसर्जनानेंच होतो. परंतु हवा किंवा वायु यांच्या साक्षात् सान्निध्यानेंही कांहीं शीत होण्याची क्रिया चालते. कारण त्या हवेंत किंवा वायूंत तत्काळ प्रापणप्रवाह सुरू होतात. म्हणून केवळ किरणविसर्जनानेंच पदार्थ शीत होतो असें समजून जे परिणाम काढिले असतील त्यांत या शीत होण्यापासून कांहीं फेरफार होतील.

२४२. ड्यूलाँग आणि पेटिट यांचे न्यूटनच्या नियमाविषयीं विचार—आम्ही सांगितलें कीं उष्णमानांमधील अंतर जेव्हां मोठें नसतें तेव्हां मात्र न्यूटनचा नियम बराच खरा असतो. ड्यूलाँग व पेटिट यांणीं याविषयीं सूक्ष्म प्रयोग केले, त्यांचें येथें साग्र वर्णन करणें बरोबर होणार नाहीं. बालफोर्ट स्टुअर्ट यानें आपल्या उष्णता शास्त्रावरील पुस्तकांत साग्र वर्णन केलें आहे. तेथें ज्यांस पाहिजे त्यांनीं पाहावें.

तथापि त्यांनीं काढलेल्या अनुमानांपैकीं कांहीं अनुमानें येथें थोडक्यांत देतों व त्यांच्या रीतीचें साधारण दिग्दर्शन करितों.



आकृति १२२ वी.

T हें फार मोठ्या फुग्याचें उष्णमापक आहे. याचा फुगा काजळानें काळा केलेला आहे. (आ. १२२ पहा) A A हें तांब्याचें गोल पात्र आहे, व त्याची आंतील बाजूही काळी केलेली आहे, व त्यांत उष्णतामापकाचा फुगा मधोमध बसविलेला आहे. अगदीं निर्वात केलें असतां त्यावरील हवेच्या दाबानें चपटें होऊं नये इतकें हें पात्र घट्ट असतें. तथापि ज्या W W पाण्यांत आहे, त्याचें उष्णमान भांड्यांच्या सर्वत्र जाडींत सारखें पसरावें इतकें हें पातळ आहे. या पाण्याचें आणि ह्मणून A A भांड्याचें उ° श. उष्णमान ०° श पासून १००° श. पर्यंत हवें तें ठेवितां येईल; आणि हें उ° उष्णमानच T उष्णमापकाचें अखेरचें उष्णमान होईल. हें उष्णमान पाण्यांत ठेविलेल्या उष्णमापकावरून समजेल.

शीत होणाऱ्या T या पदार्थाचें उ'° श. उष्णमान आणि दोहों उष्णमानांमधील अंतर (उं-उ) हें हवें तेव्हां T या उष्णमापकावरून समजेल. कारण T या उष्णमापकावरील अंश साध्या उष्णमापका एवढेच मांडलेले आहेत. ह्मणून T या

शीत होणाऱ्या पदार्थाचें उष्णमान नेहमी सहजीं कळतें. खालीं दिलेले प्रयोग त्यांनीं या यंत्रानें केले होते.

(१) सभोंवतालच्या A A पात्राचें उ°₁ श. हें कायमचें उष्णमान ठेवून उष्णमानांमधील अंतर निरनिराळें असतां शीत होण्याचें मान कसें असतें हें त्यांनीं पाहिलें. उदाहरणार्थ A A चें उष्णमान १०° श. ठेवून T चें उष्णमान १२° श, १४°श १६° श. १८° श; इत्यादि (म्हणजे जेथें अंतर=२, ४, ६, ८, इ०) असतां शीत होण्याचें मान कसें असतें तें त्यांनीं पाहिलें.

(२) नंतर A A पात्राचें उ°₂ श हें दुसरें उष्णमान ठेवून वरच्या इतकींच अंतरें असतां शीत होण्याचें मान कसें असतें तें पाहिलें. उदाहरणार्थ—A A चें उष्णमान १२°श ठेवून T चीं उष्णमानें १४°श. १६°श. १८° श २०° श इत्यादि (म्हणजे अंतर=२, ४, ६, ८,) असतां शीत होण्याचें मान कसें असतें तें पाहिलें.

(३) नंतर A A जाग्यांत निरनिराळ्या दाबाचे भिन्नभिन्न वायु भरून कसे परिणाम घडतात हें पाहिलें. हे फार महत्वाचे नव्हते.

२४३. **या प्रयोगांपासून निघालेलीं अनुमानें**—उष्णमानांमधील अंतर भिन्न भिन्न असतां शीत होण्याचें मान कोणत्या रीतीनें बदलत जातें, आणि उष्णमानांमधील अंतर समान असतां दोन उष्णमानें कोणतींही असलीं तर शीत होण्याच्या मानांत कांहीं फेरफार पडतो कीं काय? आणि जर पडत असला तर कोणत्या नियमानें पडतो हें पाहाण्याचा उद्देश वरील प्रयोगांचा होता.

(अ) दोहोंपैकीं मोठें उष्णमान उ°श हें सारखेंच असतां शीत होण्याचें मान अंतराशीं बरोबर प्रमाणांत न राहतां त्याहून अधिक वेगानें वाढतें. उदाहरणार्थ अंतर २° असतां शीत होण्याचें जें मान असतें, त्याच्या दुपटीहून अधिक अंतर ४° असतां शीत होण्याचें मान असतें.

(ब) उष्णमानांमधील अंतर समान असतां नीच उष्णमानापेक्षां उच्च उष्णमानावर शीत होण्याचें मान जास्त असतें. उदाहरणार्थ एकाद्या खोलीचें उष्णमान २०°श. आणि शीत होण्या करितां ठेविलेल्या उष्णमापकाचें उष्णमान २२° श. असतां शीत होण्याचें जें मान असतें त्यापेक्षां खोलीचें ३०° श आणि उष्णमापकाचें ३२° श. उष्णमान असतां जास्त असतें.

२४४. **उष्णतेच्या विनिमयाविषयीं आणि उष्णमानाच्या समतोलत्वाविषयीं कल्पना**—हें आपणास माहीत आहे कीं, जर एकादा पदार्थ त्याच्या सभोंवतालच्या पदार्थांपेक्षां जास्त किंवा कमी उष्णमानावर असेल, तर तो आणि हे एकाच उष्णमानावर येईपर्यंत त्याचें उष्णमान कमी होतें किंवा जास्त होतें. आतां पदार्थांतून उष्णता जाते म्हणजे त्याच्या कणांची कोणत्या तरी रीतीनें गति कमी होते. उष्णतेच्या लहरीरूप कल्पनेप्रमाणें तो पदार्थ ईथरमध्यें एकामागून एक अशा लहरी उत्पन्न करितो, आणि हें काम करण्यांत त्याची गति कमी होते. याचप्रमाणें पदार्थ उष्ण होतां, याचा अर्थ त्याच्या सभोंवतालचे पदार्थ त्यास कोणत्या तरी रीतीनें गति देतात. किंवा

लहरीरूप कल्पनेप्रमाणें भिंती वगैरे इथरमध्यें लहरी उत्पन्न करितात, त्या लहरी पुढें जाऊन त्या पदार्थावर आदळतात. आणि तेणेंकरून त्याचे कण अधिक जोरानें आंदोलन पावतात. आतां असें समजा कीं, भिंती वगैरे पदार्थांच्या इतकें पदार्थांचें उष्णमान झालें, म्हणजे त्यांत उष्णता येत नाहीं व त्यांतून जातही नाहीं. तेव्हां तो पदार्थ ईथरमध्यें लहरी मुळींच उत्पन्न करीत नाहीं, आणि म्हणून दुसऱ्यास उष्णता देत नाहीं; किंवा भिंती वगैरे त्याकडे लहरी पाठवीत नाहींत, आणि म्हणून उष्णता देत नाहींत, असें समजावयाचें कीं काय? अशी कल्पना करितां येत नाहीं. परंतु याविषयीं आपण असें अनुमान काढलें पाहिजे कीं, क्षणोक्षणीं पदार्थांतून जेवढी उष्णता जाते तेवढी उष्णता पदार्थांत येते, यामुळें पदार्थाचें उष्णमान तसेंच राहतें. या वरून असें दिसतें कीं, उष्णतेच्या समतोलनाची स्थिति साधारणतः समजतात त्याप्रमाणें स्थायिक नसून ती गमनशील असते. तसेंच जेव्हां पदार्थ अधिकाधिक उष्ण होत असतो, तेव्हां जेवढी उष्णता तो बाहेर टाकितो त्याहून जास्त त्यांत येत असते. आणि पदार्थ शीत होतांना जेवढी त्यांत उष्णता येते, त्याहून तो जास्त बाहेर टाकीत असतो.

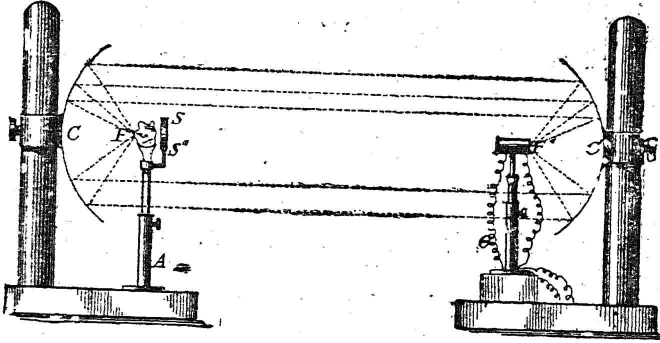
बाष्पभवन, वायूचें द्रवीकरण आणि वाफेनें परिप्लुत होण्याची स्थिती यांविषयीं कलम १५८ यांत पदार्थांच्या घटनेच्या गतिविशिष्ट कल्पनेप्रमाणें स्पष्टीकरण करितांना जो विचार केला, त्याशीं व याशीं किती साम्य आहे, हें वाचकांच्या एकदम लक्षांत येईल. कोणत्याही प्रकारची पदार्थास स्थायिक स्थिति असूं शकत नाहीं असें मत दिवसें दिवस दृढ होत चाललें आहे.

वरील विवेचनांत उष्णमानाचा विनिमय आणि उष्णमानाचें समतोलन यांविषयीं प्रेव्होस्ट याची जी कल्पना आहे, तिचीं मुख्य तत्त्वें दिलीं आहेत. आणखी एक उदाहरण देतों त्यावरून वर सांगितलेल्या तत्त्वांचें बरेंच पुष्टीकरण होईल.

असें समजा कीं एका खोलीचें उष्णमान उ° श आहे; तींत ठेविलेल्या उष्णमापकाचेंही उष्णमान उ° श. झालेलें आहे. या खोलींत ०° श. उष्णमानावर असलेला बर्फाचा तुकडा ठेविला. उ° उष्णमान ०° हून जास्त आहे असें समजूं. आतां बर्फ वितळूं लागतें, आणि म्हणून तें भिंत व उष्णमापक या सभोंवतालच्या पदार्थांतून उष्णता शोषण करीत असलें पाहिजे. परंतु भिंत आणि उष्णमापक बर्फाच्या तुकड्याकडे मात्र उष्णता पाठवीत आहेत, असेंच आपणास म्हणतां येणार नाहीं. ह्मणून आपण असें अनुमान करितों कीं, ज्यापेक्षां तें बर्फास उष्णता खरोखर देत आहे, त्यापेक्षां उष्णतेचें चलन परस्परांकडे होत आहे.

२४५. उष्णतेच्या विनिमयाचें स्पष्टीकरण करण्यास सरूप आरशांचा उपयोग.—सरूप आरशांच्या सहाय्यानें एक प्रयोग करितां येतो. त्यानें या नियमाचें बरेंच स्पष्टीकरण होतें. तो प्रयोग खालीं दिला आहे. जरी आम्ही उष्णताजन्य विद्युन्मालेचा उपयोग केला आहे, असें समजून वर्णन केलें आहे, तरी भेदोष्णमापकाचाही आपणास उपयोग करितां येईल. मात्र त्या वेळीं आरशास अधिक जवळ ठेवावें लागेल.

प्रयोग—कलम २२५ यांत सांगितल्याप्रमाणें सरूप आरसे समोरा समोर ठें-



आकृति १२३ वी.

वावे. A बैठक एका आरशा पुढें अशी ठेवावी कीं, तिजवर ठेविलेला पदार्थ आरशाच्या F केंद्रांत येईल; आणि त्या बैठकीस S S′ पत्रा असा असावा कीं, विसर्जित किरण दुसऱ्या आरशावर पडूं नयेत. उष्णताजन्य विद्युन्माला θ दुसऱ्या आरशापुढें अशी ठेवावी कीं, तिचें उघडें तोंड त्याच्या F′ केंद्रांत असेल. आणि तिच्या दुसऱ्या तोंडावर पितळेचें झांकण घालून त्यावर कोणतेंही कार्य होऊं देऊं नये. आतां या प्रयोगाचे तीन भाग करूं.

(१) A बैठकीवर हवेच्या इतकें उष्णमान असलेला एक पदार्थ ठेवावा, म्हणजे उष्णताजन्य माला कांहीं उष्णता दर्शविणार नाहीं. आणि विनिमय कल्पनेप्रमाणें आपण असें म्हणूं कीं, F′ ठिकाणीं असलेली माला आणि F ठिकाणीं असलेला पदार्थ हे परस्परांकडे अशा रीतीनें उष्णता पाठवीत आहेत कीं, प्रत्येक जेवढी उष्णता बाहेर टाकितो, तेवढी त्याकडे येते.

(२) नंतर F ठिकाणीं बैठकीवर उष्ण केलेला पदार्थ ठेवावा. म्हणजे माला उष्ण होत आहे असें दिसेल. कारण ती आतां F कडे जेवढी उष्णता पाठविते, तिजपेक्षां F कडून जास्त उष्णता तिजकडें येते.

(३) आतां F ठिकाणीं थोडें बर्फ ठेवावें म्हणजे हवेच्या उष्णमानापेक्षां F′ ठिकाणची माला शीत झाल्याचें दिसेल. तर मालेकडे बर्फानें शीतता विसर्जित केली असें आपण म्हणावें कीं काय? असें म्हटल्यास उष्णतेच्या स्वरूपाविषयीं जी कल्पना आहे, ती सर्वच कांहींशी बदलावी लागेल. परंतु विनिमयाच्या कल्पनेवरून ही गोष्ट सहज स्पष्ट करून दाखवितां येते. कारण प्रयोगाच्या पहिल्या भागांत जेव्हां F ठिकाणीं हवेच्या उष्णमानाइतक्या उष्णमानाचा पदार्थ ठेविला, तेव्हां जर मालेनें जेवढी उष्णता बाहेर टाकिली, तेवढीच उष्णता तिच्यांत आली तर ह्या वेळीं तिणें जेवढी उष्णता बाहेर टाकिली, तिजपेक्षां कमी उष्णता तिजकडे आली, असें

ह्मणतां येईल. कारण खोलींत ठेविलेलें बर्फ वितळतें ह्मणून एकंदरींत बर्फामध्यें कमी उष्णता येते, हें उघड आहे. म्हणून खोलीच्या उष्णमानाइतकें उष्णमान असलेला पदार्थ जेवढी उष्णता विसर्जित करितो, त्यापेक्षां बर्फ कमी उष्णता विसर्जित करीत असलें पाहिजे. याप्रमाणें त्याला जितकी उष्णता बाहेर टाकिते, त्यापेक्षां तिजमध्यें कमी उष्णता आल्यामुळें ती शीत होते हें उघड आहे.

टीप—(अ) F कद्रांत जेव्हां मुळींच पदार्थ नसतो, तेव्हां S S पत्रा, खोलीच्या भिंती, आणि जमीन इत्यादि यांपासून विसर्जित झालेली उष्णता F केंद्रांतून जाते; आणि भिंती वगैरे पदार्थांच्या उष्णमाना इतक्या उष्णमानाचा पदार्थ केंद्रांत ठेविला असतां जेवढी उष्णता दुसऱ्या आरशावर जाईल तितकीच उष्णता पदार्थ नसतांही केंद्रांतून जाते.

(ब) वास्तविक दुसऱ्या प्रयोगापूर्वी तिसरा प्रयोग केला पाहिजे. नाहींतर दुसऱ्या प्रयोगांत बैठक उष्ण होते, ती बैठक बदलून दुसरी बैठक घेतली पाहिजे.

२४६. बंद खोली—येथें एक आह्मी नवीनच पण साधी गोष्ट सांगून ठेवूं. तिचा उपयोग आम्हांस पुढें जास्त करावा लागेल. अशी कल्पना करूं कीं, कोणत्या तरी आकाराची सर्व बाजूंनीं बंद अशी एक खोली आहे आणि तिच्या भिंती वगैरे सर्व भागांचें उष्णमान सारखें उ° आहे. या खोलींत मध्यें किंवा कोपऱ्यांत कोठेंही उष्णमापक ठेविलें तर त्याचें उष्णमान उ° होईल हें उघड आहे. आतां आह्मी जें वर सांगितलें, त्यावरून याचा अर्थ असा होतो कीं; खोलीच्या सर्व भागीं दर सेकंदांत त्याजवर सारखीच उष्णता येऊन पडते. कारण त्याचें उष्णमान सर्व ठिकाणीं उ° राहतें. म्हणून त्यानें दर सेकंदांत सर्व ठिकाणीं आपल्यांतील सारखीच उष्णता बाहेर टाकिली असें म्हटलें पाहिजे. असें नसेल तर खोलीच्या सर्व भागीं दर सेकंदांत बरोबर तितकीच उष्णता उष्णमापकांत येऊं शकणार नाहीं. या साध्या प्रयोगसिद्ध गोष्टीवरून असें दिसतें कीं ज्या खोलीच्या भिंती हव्या त्या भिन्न भिन्न द्रव्याच्या पण समान उष्णमानाच्या आहेत, अशा खोलींत उष्णतेचे जे किरण सर्व दिशांनीं एकसारखे जात असतात, ते सर्वत्र सारखे असतात. म्हणजे सारख्या उष्णमानाचे असतात.

विसर्जन आणि शोषण यांमधील साधारण संबंध.

२४७. शीघ्र आणि मंद विसर्जक—आतां विसर्जन विषयाच्या ज्या भागाविषयीं सांगणार त्याचें पुढें याहून अधिक तपशीलवार वर्णन केलें आहे.

आह्मी असें सांगितलें कीं पदार्थांपासून जी उष्णता विसर्जित होते, ती त्यांच्या उष्णमानावर अवलंबून असते. उदाहरणार्थ थंड पाण्यानें भरलेल्या चहादाणीपेक्षां तेवढ्याच कढत्या पाण्यानें भरलेल्या चहादाणीपासून जास्त उष्णता विसर्जित होते. तसेंच ज्या जातीची चहादाणी आपण घेऊं त्यावरही विसर्जित उष्णतेचें मान अवलंबून असतें. एक चकचकीत रुप्याची चहादाणी घेतली आणि दुसरी तसलीच व तेवढीच काजळानें रंगवून काळी केलेली चहादाणी घेतली, आणि जरी दोहोंचें उष्णमान समान असलें,

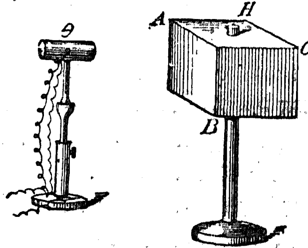
तरी चकचकीत चहादाणीपासून थोडी उष्णता विसर्जित होईल. वास्तव विसर्जन पावणाऱ्या उष्णतेचें मान पदार्थाचें उष्णमान आणि त्याच्या पृष्ठभागाची स्थिति या दोहोंवर अवलंबून असतें. हें लक्षांत ठेविलें पाहिजे कीं, तूर्त आह्मी विषयाचा स्थूल मानानें आणि कित्येक वेळां अर्धवट रीतीनें विचार करीत आहों. कारण प्रथमतः या विषयाचें साधारण स्वरूप वाचकांच्या लक्षांत यावें असा आमचा हेतु आहे. पुढें याहून बारिक व सूक्ष्म रीतीनें तपशीलवार असा विचार करण्यांत येईल. प्रथमतः सर्व प्रकारच्या पृष्ठभागांचे दोन वर्ग करूं.

(१) **शीघ्रविसर्जक**—साधारणतः खरखरीत आणि काळे असे जे पृष्ठभाग त्यांपासून उष्णताविसर्जन चांगलें होतें.

(२) **मंदविसर्जक**--चकचकीत फिकट रंगाचे पृष्ठभाग यांपासून उष्णताविसर्जन फार मंद होतें.

कांहीं थोडे प्रयोग करून असें दाखवूं कीं, निदान बऱ्याच गोष्टींत वर सांगितलेले नियम खरे असतात.

प्रयोग १—A B C हा एक सहा इंच औरस चौरस चकचकीत डबा आहे. त्याच्या वरच्या अंगास बुचानें बंद केलेलें H भोंक आहे, त्यांतून डब्यांत कढतें पाणी भरतां येतें. हा डबा ठेवण्याची उभी बैठक आहे, ती फिरवून डब्याची हवी ती बाजू प्रयोग करणारास आपल्या समोर आणितां येते. (आ. १२४ पहा.)



आकृति १२४ वी.

डब्याच्या चारही उभ्या बाजू निरनिराळ्या पदार्थांनीं मढविलेल्या आहेत. जसें A B बाजू काळ्या रंगानें रंगविलेली आहे; आणि B C बाजू कथलाच्या चकचकीन वर्खानें मढविली आहे.

θ ही उष्णमाला अशी ठेविली आहे कीं, तिचें एक तोंड उघडें असून डब्याकडे वळविलेलें आहे.

डबा वाटोळा फिरवून व मालेसमोर त्याच्या निरनिराळ्या बाजू आणून असें पाहातां येतें कीं, जरी सर्व बाजूंचें उष्णमान एकच आहे, तरी त्यांच्या विसर्जक शक्तीमध्यें फार फरक दिसतो. काळ्या व चकचकीत बाजूंच्या विसर्जक शक्तींत फारच फरक दृष्टीस पडतो.

टीप—ह्या प्रयोगांत मालेच्या बदला लेसलीचें भेदोष्णमापकही घेतां येतें. मात्र तें डब्याच्या फार जवळ ठेवावें लागतें.

(२) आतां ज्याची प्रत्येक बाजू फक्त ३ इंच आहे, असे वर सांगितल्या प्रकारचे दोन चौकोनी डबे, एक सर्व बाजूंनीं काळा केलेला, आणि दुसरा चकचकीत कथलाच्या वर्खानें मढविलेला, असे घेऊं. प्रत्येकांत कढतें पाणी भरून त्यांच्या भोंकांतील

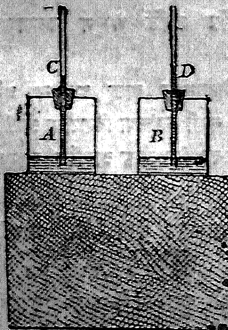
बुचांतून उष्णमापकें पाण्यांत बुडण्याजोगीं बसवूं. (पुढील आ. १२५ पहा) या डब्यांस हवेंत उघडे ठेवून त्यांपासून विसर्जन चालूं दिलें तर काळ्या डब्याचें उष्णमान जास्त जलदीनें उतरतें किंवा तो जास्त उष्णता विसर्जित करितो, हें त्यांतील उष्णमापकावरून समजतें.

२४८. **शीघ्र आणि मंद शोषण**—सभोंवतालच्या पदार्थांहून जास्त उष्णमानावर पदार्थ असतां तो उष्णता बाहेर किती टाकितो, याचा विचार केल्यावर स्वाभाविकच सभोंवतालच्या पदार्थांहून कमी उष्णमानावर पदार्थ असतां, तो उष्णता कशी शोषण करितो, याचा विचार केला पाहिजे. जर उष्णतेविषयीं लहरीरूप कल्पना खरी आहे असें घेतलें, तर उष्णता बाहेर टाकणें व शोषणें यांचा अर्थ पदार्थांचे कण आणि ईथर यां दोहोंमध्यें गतींचा संचार सहजीं होणें हा आहे. ही गोष्ट लक्षांत ठेविली असतां जर पदार्थ सहजीं उष्णता बाहेर टाकीत असेल, तर तो सहजीं उष्णता शोषणही करील, ही गोष्ट स्वाभाविक दिसते. ह्मणजे शीघ्र विसर्जक हे शीघ्र शोषक असावे, हें अनुमान सहजीं निघतें. एक साधी गोष्ट घेऊन या स्वाभाविक अनुमानाची प्रतीति येते किंवा नाहीं तें पाहूं. पुढें शोषण आणि विसर्जन यांमध्यें जो संबंध असतो, त्याविषयीं पूर्ण विवेचन करूं.

प्रयोग (१) एक चकचकीत कथलाचा पत्रा आणि दुसरा मागील कलमांत सांगितलेल्या काळ्या रंगानें रंगविलेला पत्रा असे दोन पत्रे विस्तवाजवळ किंवा लाल भडक केलेल्या गोटी जवळ धरावे, ह्मणजे जो काळा पत्रा चांगला विसर्जक आहे, असें आमच्या अनुभवास आलें आहे तोच पत्रा दुसऱ्या पत्र्यापेक्षां जास्त उष्ण होईल. ह्मणजे तोच चांगला शोषकही असेल.

प्रयोग (२) मागील कलमांतील दुसऱ्या प्रयोगांत जे A व B औरस चौरस डबे घेतले तेच घेऊं. A डबा काळा रंगविलेला आहे, आणि B डब्याच्या बाजू चकचकीत आहेत.

प्रत्येक डब्याच्या वरच्या बाजूवरील भोंकांत बूच बसवून त्यांत बारिक भोंकांची व दोहों तोंडांनीं उघडी अशी नळी डब्याच्या तळापर्यंत पोंचे अशी बसविलेली आहे. रंगीत केलेलें पाणी प्रत्येक डब्यांत सारख्या उंचीपर्यंत भरलेलें आहे. डबा भरून प्रत्येक नळींत कांहीं उंचीपर्यंत पाणी चढविलेलें आहे. बुचानें डब्यांचीं तोंडें अगदीं गच्च बंद केलेलीं आहेत. आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें (आ. १२५ पहा) दोन्ही डबे एका लांकडाच्या तुकड्यावर जवळ जवळ ठेवून त्यांच्या पुढें सारख्या अंतरावर लाल भडक केलेला एक लोखंडाचा गोळा ठेवावा. लागलेंच असें नजरेस येतें कीं, काळा केलेला डबा उष्णतेचें चांगलें शोषण करितो. कारण C नळींतील पाणी जलदी वर चढतें, व त्यावरून त्या डब्याच्या आंतील हवा प्रसरण



आकृति १२९ वी.

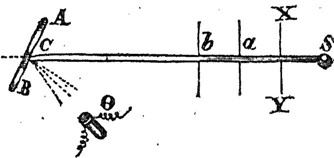
पावत आहे असें दिसतें. आणि D नळींतील पाणी सावकाश चढतें. यावरून दुसरा चकचकीत उबा उष्णतेचें शोषण फार मंद रीतीनें करितो असें अनुभवास येतें.

अगदीं पांढरे शुभ्र असे कपडे उन्हांत फार गरम होत नाहींत, याचें कारण हेंच आहे; आणि हेच कपडे ध्रुवाजवळील अति थंड हवेंत गरम असतात. यास्तव पांढरे कपडे उष्ण किंवा थंड हवेंत वापरण्यास चांगले होत.

२४९. **उष्णतेची विस्तृति किंवा तिचा परिक्षेप**—एखाद्या पृष्ठभागावर जेव्हां उष्णतेचे किरण पडतात तेव्हां त्यांपैकीं कांहीं शोषले जातात, आणि कांहीं मागें सांगितलेल्या नियमाप्रमाणें साधारणतः परावर्तन पावतात. परंतु पृष्ठभागाच्या जास्त कमी खरबरीतपणामुळें पदार्थांच्या असंख्य लहान लहान पृष्ठभागांपासून व टोकां-पासून अनियमित रीतीनें कांहीं भाग परावर्तन पावतो. हे लहान पृष्ठभाग जिकडे तिकडे अनेक दिशांनीं वळलेले असतात, म्हणून हें अनियमित परावर्तन किंवा प्रसरण अनेक दिशांनीं घडतें.

पुढें सांगितल्या रीतीनें हें पाहतां येतें.

खालील आकृति वरून दिसेल तशी काढलेली आहे. (आ. १२६ पहा) S हा उष्ण पदार्थ आहे, आणि त्यापासून $a\ b\ c$ हा किरण पूर्वींच्या प्रयोगांत सांगितल्या-प्रमाणें जात आहे. A B हा एक पृष्ठभाग आहे, व याची उष्णता विस्तृत करण्याची शक्ति आपणास पाहणें आहे. A B कडे तोंड केलेली θ ही उष्णताजन्य माला आहे.



आकृति १२६ वी.

आरंभीं X Y हा पत्रा S पुढें ठेवून त्याची उष्णता A B कडे अगदीं जाऊं नये असें करावें. नंतर तो पत्रा पटकन काढून घ्यावा, म्हणजे लागलाच विद्युन्मापकाचा कांटा आपलें स्थान सोडतो, व त्यावरून AB पृष्ठभागापासून मालेवर उष्णतेचे किरण पडले हें स्पष्ट होतें. A B पत्रा कसाही कलता धरिला तरी हें घडतें. म्हणून हें साधारण परावर्तन नव्हे असें स्पष्ट होतें. ही गोष्ट तत्काळ घडते म्हणून A B पत्रा उष्ण होऊन त्यापासून विसर्जित झालेली उष्णता ही नव्हे हें उघड आहे. या रीतीनें निरनिराळ्या द्रव्यांचे पृष्ठभाग निरनिराळे कोन करण्याजोगे कलते ठेवून किती किती उष्णता त्यांपासून विस्तृत होते याची तुलना करितां येईल. हे प्रयोग करण्यास फार सूक्ष्म अशी माला घ्यावी.

२५०. **जेवढे किरण पडतील तेवढे सर्व काजळ शोषण करितें**—वरील प्रयोगांत पदार्थांच्या ठिकाणीं काजळाचा गोळा घेतला तर त्यापासून परावर्तन किंवा प्रसरण कांहींच घडत नाहीं. बराच वेळ ठेवून त्या गोळ्यास उष्ण होऊं दिलें तर मात्र विसर्जनानें उष्णता येते; एरवीं येत नाहीं. काजळाचा अगदीं पातळ थर असला तर त्यांतून अत्यंत लाल किरण जातात, परंतु परावर्तन पावत नाहींत, असें टिंडाल

यानें शोधून काढिलें आहे. परंतु जाड थर असला किंवा साध्या खरबरीत पृष्ठभागावर काजळाचा पातळ थर दिला तरी वर सांगितलेली गोष्ट सर्वदा घडते.

२५१. **उष्णतेचें गमन**—साधारणपणें असें म्हणतां येईल कीं उष्णता पदार्थापासून परावर्तन पावते किंवा त्यानें शोषली जाते. उष्णतेचें प्रसरण याचा परावर्तनांत समावेश होतो. परंतु कांच, कित्येक द्रव, वगैरे कांहीं पदार्थ असे आहेत कीं जी उष्णता ते शोषण करितात त्यांपैकीं कांहीं उष्णतेस आपणांतून जाऊं देतात. जेवढी उष्णता ते खरोखर शोषण करितात त्या उष्णतेनें पदार्थ उष्ण होतो, आणि जी उष्णता त्यांतून जाते त्या उष्णतेनें तो पदार्थ उष्ण होत नाहीं. परंतु ती उष्णता दुसऱ्या बाजूस असलेल्या पदार्थास उष्ण करण्यास मोकळी असते.

जे पदार्थ या अदृश्य उष्णतेस पार जाऊं देतात त्यांस **उष्णताभेद्य** (dia therma-nous) आणि ज्यांतून उष्णता पार जात नाहीं त्यांस **उष्णता अभेद्य** (athermanous) अशीं नांवें देऊं.

प्रयोग—कांच ही कांहींशी उष्णताभेद्य किंवा पारवाही आहे असें सहज दाखवितां येतें. उष्णताजन्यमाला किंवा भेदोष्णमापक आणि उष्ण पदार्थ ह्या दोहोंमध्यें जर कांचेचें भिंग धरिलें, तर असें आढळेल कीं थोडी तरी उष्णता मालेस पोंचते ; आणि नंतर भिंग पाहिलें तर तेंही उष्ण झालेलें असतें. यास्तव जी उष्णता मालेस पोंचली नाहीं तिजपैकीं कांहीं शोषण झाली होती, हें उघड दिसतें.

२५२. **शोषण, गमन, परावर्तन,** आणि **प्रसरण यांचा परस्पर संबंध**—जी उष्णता एका सेकंदांत विवक्षित पृष्ठभागावर आली तिला १ समजलें आणि शोषीत, गत, परावर्तित आणि प्रसृत झालेल्या उष्णतेच्या भागांस श, ग, प, प्र, या अक्षरांनीं अनुक्रमें दर्शविलें, तर ज्या अर्थी पृष्ठभागावर आलेल्या सर्व उष्णतेचा ह्यापैकीं कोणत्या तरी एका रीतीनें विनिमय झालेला आहे, त्या अर्थी स्वाभाविकच पुढील संबंध असला पाहिजे.

$$१ = श + ग + प + प्र.$$

कित्येक प्रसंगीं या अक्षरांपैकीं एक किंवा अधिक अक्षरांच्या किमती शून्य असतील. उदाहरणार्थ उष्णता अभेद्य पदार्थ घेतले तर त्यांत ग = ० असेल. कारण त्यांमधून उष्णता पुढें जाणार नाहीं.

२५३. **विसर्जक शक्ति मापणें**—आतां विसर्जकशक्ति कशास म्हणतात, हें सांगून निरनिराळ्या विसर्जक शक्तींची तुलना कशी करावी, हें दाखवूं.

प्रमाणभूत क्षेत्रापासून प्रमाणभूत काळांत उ° उष्णमानावर ज्या परिमाणाची उष्णता विसर्जित होते, त्यावरून विवक्षित उष्णमानावर असलेल्या कोणत्याही पृष्ठभागाची विसर्जक शक्ति मापितात.

पृष्ठभागाची उ° उष्णमानावर विसर्जक शक्ति दर्शविण्यास $वि_उ$ हें चिन्ह घेऊं आणि प्रत्येक चौरस इंच पृष्ठभागापासून दर सेकंदास ज्या परिमाणाची उष्णता विसर्जित होईल, त्यावरून विसर्जक शक्ति मापूं.

ठेवावा व मालेवर त्याचें कार्य होऊं नये ह्मणून त्याच्या आड पडदा ठेवून चौकोनी भांड्याचें उष्णमान १००° श वर कायम ठेवावें. आणि निरनिराळ्या पदार्थांनीं मढविलेल्या चौकोनी भांड्याच्या किंवा डब्याच्या बाजू मालेकडे क्रमाक्रमानें फिरवाव्या. प्रत्येक वेळीं चौकोनापासून उष्णतेचें जें विसर्जन होतें, त्याचा जोर विद्युन्मापकांतील कांट्याच्या वळण्यानें मापावा.

निरनिराळ्या पदार्थांनीं मढविलेले असे अनेक चौकोनी डबे तयार करावे; आणि प्रत्येक डबा मालेपासून सारख्या अंतरावर ठेवावा.

अशा प्रयोगांपासून जे परिणाम घडतात, त्यांचें कोष्टक खालीं दिलें आहे. हें **डिश्चानल** याच्या पुस्तकांतून घेतलें आहे. काजळ सर्व पदार्थांत सर्व उष्णमानावर उत्तम विसर्जक आहे; ह्मणून त्याची विसर्जक शक्ति १०० असें कल्पिलें आहे.

१००° **श**. उष्णमानावरील विसर्जक शक्ति.			
काजळ	१००	लाख	७२
सफेता	१००	जिल्हई दिलेलें पितळ	७
कांच	९०	,, ,, सोनें	३
हिंदी शाई	८५	,, ,, रुपें	३

यावरून असें दिसतें कीं, कलम २४७ यांत जो सिद्धांत सांगितला त्यांत थोडा फेरफार केला पाहिजे. कारण १००° श उष्णमानावर काजळा इतका सफेताही चांगला विसर्जक आहे.

२५४. शोषक शक्ति मापणें—पदार्थाची शोषकशक्ति दर्शविण्यास श हें अक्षर घेऊं, आणि त्याचा अर्थ खालीं दिल्याप्रमाणें समजूं. एका सेकंदांत पृष्ठभागावर जे उष्णतेचे किरण पडतात, त्यांचें एकंदर परिमाण प असें घेऊन त्यापैकीं जो अंश पृष्ठभाग शोषण करितो, तो श अक्षरानें दर्शविला आहे, असें म्हणत जाऊं. यास्तव श याची अतिमोठीं किंमत म्हणजे १ होईल. सर्व पदार्थांत काजळ याची मात्र शोषकशक्ति श एक असते. बाकी इतर पदार्थांत श याची किंमत सम अपूर्णांक असेल.

निरनिराळ्या पदार्थांच्या शोषक शक्ति मेलोनी यानें ज्या रीतीनें शोधून काढिल्या, ती रीति फार सूक्ष्ममानाची नव्हती, म्हणून ती आम्ही येथें देत नाहीं. कलम २४८ प्रयोग २ यांत सांगितलेल्या रीतीनें चांगले परिणाम अनुभवास येतात.

काळा केलेला कथलाचा चौकोनी डबा १००° श उष्णमानावर ठेवून त्यापासून विसर्जित झालेली उष्णता शोषण करविली, तर वरील कलमांत निरनिराळ्या पदार्थांच्या ज्या विसर्जक शक्ति दिल्या आहेत, त्याच शोषक शक्ति येतात.

२५५. **विसर्जन आणि शोषण यांमधील "बंद खोलीच्या" सहाय्यानें काढलेला संबंध**—बंद खोलीच्या आंतील बाजू काजळानें मढविलेल्या आहेत, व तिला उ° श या नियमित उष्णमानावर ठेविलें असून तिजमध्यें कोठें तरी उष्णमापक ठेविलें आहे, असें समजूं. खोलींत कोठेंही उष्णमापक असलें तरी त्याचें उष्णमान उ° श होईल, हें आपणास माहीत आहे. खोलीच्या एका बाजूस टेंकून उष्णमापक ठेविलें आहे, व तें तेथें एक चौरस इंच जागा व्यापितें, असें घेऊं. ज्या पदार्थांच्या शोषक व विसर्जक शक्तीविषयीं आपणास विचार कर्तव्य आहे, त्यानें तें उष्णमापक मढविलेलें असावें. प्रत्यक्ष प्रयोगावरून असें अनुभवास येतें कीं, तें उ° श या उष्णमानावरच राहतें; म्हणून त्यानें जितकी उष्णता विसर्जित केली तितकीच शोषण केली, असें होतें.

$वि_उ$=उ°श उष्णमानावर काजळाची विसर्जकशक्ति.

$श_उ$= ,, ,, शोषकशक्ति (=१. क.२५०)

$वि'_उ$= ,, इच्छित पदार्थाची विसर्जकशक्ति.

$श'_उ$= ,, ,, शोषकशक्ति.

पूर्वीच्या दोन कलमांत शोषक व विसर्जक शक्तींच्या व्याख्या दिल्या आहेत. विसर्जक शक्तीची जी व्याख्या दिली आहे तिला अनुसरूनच, उष्णमापकानें प्रमाणभूत एक चौरस इंच जागाच व्यापिली आहे, असें येथें आपण समजलों आहों. दुसरें कोणतेंही क्षेत्र घेतलें, किंवा दुसरीकडे कोठेंही उष्णमापक ठेविलें तरी परिणाम हाच घडेल; परंतु हिशेबानें सहज काढितां येणार नाहीं.

आतां काजळानें मढविलेल्या प्रत्येक चौरस इंच पृष्ठभागापासून दर सेकंदांत $वि_उ$ उष्णता विसर्जित होत आहे. आणि काजळ त्यावर पडलेली सर्व उष्णता शोषण करितें, आणि त्याचें उष्णमान उ° श कायम आहे, आणि म्हणून तें जितकी उष्णता विसर्जित करीत आहे, तितकी शोषण करीत आहे; यावरून असें स्पष्ट होतें कीं, त्याच्या प्रत्येक चौरस इंचावर $वि_उ$ इतकीच उष्णता पडत आहे. त्याचप्रमाणें ज्या विवक्षित चौरस इंचावर उष्णमापक टेंकलें आहे, त्यावरही दर सेकंदांत $वि_उ$ इतकीच उष्णता पडत आहे. $श_उ$ची ह्मणजे शोषक शक्तीची जी आह्मी व्याख्या दिली आहे, तिजवरून $श'_उ \times वि_उ$ इतकी उष्णता उष्णतामापक शोषण करितें. परंतु विसर्जक शक्तीची जी व्याख्या दिली आहे, तिजवरून $वि'_उ$ उष्णता उष्णमापक विसर्जित करीत आहे. ज्यापेक्षां तें उ°श या उष्णमानावर कायम राहतें, त्यापेक्षां

$$वि'_उ = श'_उ \times वि_उ.$$

$$किंवा, \frac{वि'_उ}{श'_उ} = वि_उ.$$

याचप्रमाणें ज्या दुसऱ्या पदार्थांच्या उ° श उष्णमानावर विसर्जक व शोषक शक्ति $वि''_उ$ आणि $श''_उ$ आहेत, त्यानें उष्णमापक मढविलें असल्यास याचप्रमाणें विसर्जक व शोषक शक्तीचा संबंध $वि_उ$ बरोबर येईल म्हणून:—

$$\frac{वि'_उ}{श'_उ} = \frac{वि''_उ}{श''_उ} = \frac{वि'''_उ}{श'''_उ} \ldots\ldots\ldots\ldots = वि_उ$$

यांतून लहरीच जाणें असें आम्ही वर सांगितलें आहे. परंतु ही वेळपर्यंत उष्णतेचे सर्व किरण किंवा सर्व लहरी एकाच जातीच्या आहेत, असें समजत आलों.

समुद्रावर आपण असें पाहतों कीं, तेथें निरनिराळ्या लांबीच्या लहरी असतात, आणि त्या एकाच वेळीं एकाच पाण्यावर पुढें जातात. तेथें एकाच काळीं भरतीपासून उत्पन्न झालेल्या लहरी, वाऱ्यापासून उत्पन्न झालेल्या लहरी, आणि मध्यें कांहीं प्रतिबंधक पदार्थ आल्यानें उत्पन्न झालेल्या लहरी, आणि वल्हें मारल्यापासून उत्पन्न झालेले छोटे उंचवटे असे सर्व एकाच वेळीं किनाऱ्यावर येऊन थडकतात, असें आपण पाहतों.

ईथर (इंधक) यांतील लहरींचा असाच प्रकार घडतो कीं काय ? आणि असा प्रकार घडत असला तर निरनिराळ्या लांबीच्या लहरींचा जो एकच घोळका आपणास येऊन पोहोंचतो, त्यांतून निरनिराळ्या लांबीच्या लहरींस कसें वेगळें काढावें, आणि त्या सर्वांचे धर्म सारखेच किंवा भिन्न असतात, हें कसें पाहावें, हा प्रश्न उत्पन्न होतो.

किरणांचा जो घोळका येतो, त्यांतून एका लांबीचे किरण दुसऱ्या लांबीच्या किरणांपासून वेगळे काढण्याची एक रीति आहे, तिजविषयीं आतां विचार करूं.

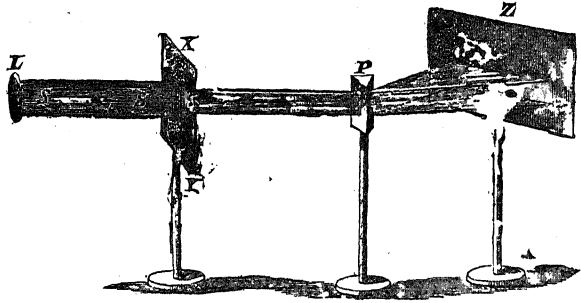
२५७. **पृथग्भूत किरण**—कलम २३७ प्रयोग २ यांत प्रिझम ह्मणजे त्रिकोनी कांच यांतून उष्णतेचा किरण जात असतां सरळ रेषेपासून वक्रीभवन पावतो, असें दाखविलें. त्याचप्रमाणें प्रकाशाचा किरणही आपल्या सरळ मार्गापासून वक्रीभूत होतो, असें आपणास माहीत आहे.

प्रकाश आणि उष्णता यांच्या वर्तनांत फार साम्य आहे आणि दोहोंचीं कार्यें स्पष्ट करण्याकरितां दोहोंविषयीं लहरीरूप ही एकच कल्पना गृहीत घेणें भाग पडतें. यावरून दोहोंमध्यें वास्तविक फार भेद नाहीं. ईथर (इंधक) मध्यें लहरी उत्पन्न होऊन दोनही पुढें जातात, आणि त्या लहरींचें चक्षुरिंद्रिय किंवा स्पर्शेंद्रिय यांवर कार्य होईल, त्याप्रमाणें आपण त्यांस प्रकाश किंवा उष्णता हीं नांवें देतों. या गोष्टीचें जास्त पूर्ण रीतीनें पुढें स्पष्टीकरण करण्यांत येईल, व त्याची सत्यताही सिद्ध करण्यांत येईल.

असें अनुभवास आलें आहे कीं, (आणि गणितानें सिद्ध करितांही येतें) ज्या किरण लहरींची लांबी कमी असते, ते किरण जास्त लांबीच्या लहरींच्या किरणापेक्षां आपल्या सरळ मार्गांतून अधिक वक्रीभवन पावतात. यामुळें भरींव भिंगावर अशा मिश्र किरणांचा समुदाय पडला तर त्यांतून पार गेल्यावर किरण पंख्यासारखे पसरतात, आणि पडद्यावर एक रुंद पट्टी दिसते, आणि रेषा दिसत नाहीं.

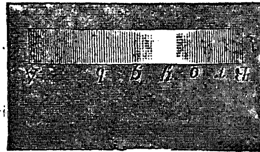
प्रयोग—म्याजिकल्यांटर्न किंवा जादूचा दिवा याकरितां ज्या कंदिलाचा उपयोग

करितात, तसा कंदील घेऊन समांतर किरणाची S S' किरणछटा पाडावी. (आ.



आकृति १२७ वी.

१२७ पहा) X Y हा उभा पडदा कंदिलापुढें ठेवून त्यास उभी लांबट चिंचोळी फट पाडून तिजमधून ही किरणछटा पार जाऊं द्यावी, म्हणजे फटीच्या उंचीची व रुंदीची किरणछटा बाहेर पडेल. पडद्यापुढें बैठकीवर उभें बसविलेलें त्रिकोनी भिंग P ठेवून त्याजवर फटींतून आलेली छटा पडूं द्यावी. म्हणजे या भिंगांतून पार जातांना वक्रीभवन पावेल, आणि भिंगापुढें असलेल्या Z या पडद्यावर पंख्या-सारखी पसरलेली अशी पडेल. पडद्यावर ही छटा स्पष्ट कशी दिसेल तें आ० १२७ मध्यें दाखविलें आहे. पाहाणारा पडद्याच्या मागें उभा असून त्यास ज्याप्रमाणें दिसेल, तशी आकृतींत दाखविली आहे. म्हणून जो भाग सरळ मार्गा-पासून अगदीं कमी वक्रीभूत झाला आहे, तो डाव्या बाजूस B कडे आणि अत्यंत वक्रीभूत झालेला भाग उजव्या बाजूस A कडे दाखविलेला आहे.



आकृति १२८ वी.

वास्तविक म्हटलें म्हणजे पृथग्भूत किरणाविषयीं विवेचन करणें प्रकाशशास्त्राचा विषय आहे; तथापि आम्ही येथें त्याचें थोडेसें वर्णन करीत आहों. ज्या लहरी अगदीं कमी वक्रीभवन पावतात, त्या फार लांब असतात, आणि लहरी ज्याप्रमाणें आंखूड असतील, त्याप्रमाणें त्या जास्त वक्रीभवन पावतात. म्हणून आ. १२८ मध्यें जो पृथग्भूत किरण दाखविला आहे, त्यांत B पासून A कडे लहरी आंखूड आंखूड होत गेलेल्या आहेत. यास्तव येथें सर्व प्रकारच्या निरनिराळ्या लांबीच्या लहरींचा किरणसमुदाय पृथग्भवनानें जास्त कमी लांबीप्रमाणें क्रमवार वेगळा झालेला आहे. यास्तव निरनिराळ्या लांबीच्या लहरींत कांहीं भेद असतो कीं काय, आणि असेल तर कोणता हें आपणास आतां हवें तेव्हां पाहतां येईल.

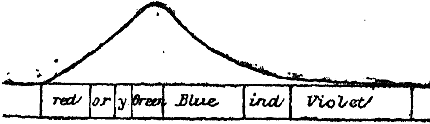
पडद्यास जर एक लहान भोंक पाडिलें, व त्यांतून पृथग्भूत किरणांचा एकादा विव-क्षित भाग पार जाऊं दिला, व दुसऱ्या त्रिकोणी भिंगावर पडूं दिला, तर तो आतां

पहिल्याप्रमाणें पसरत नाहीं. यावरून तो किरण एका विवक्षित लांबीच्या लहरीचाच असतो, असें स्पष्ट होतें. यास्तव त्रिकोणी भिंगानें निरनिराळ्या लांबीचे किरण वेगवेगळे झाले आहेत, हें सिद्ध होतें.

२५८. **प्रकाशाच्या संबंधानें पृथग्भूत किरणाविषयीं विचार**—निरनिराळ्या लांबींच्या लहरींपासून चक्षुरिंद्रियावर कसे परिणाम घडतात, हें पाहणें फार सोपें असतें. कारण हे परिणाम केवळ पाहण्यानें आपणास समजतात.

B टोंकाकडे असलेले जे अति लांब किरण त्यांस पाहिलें असतां ते मंद अशा लाल प्रकाशाचे दिसतात. आणि B पासून A कडे पाहत गेलें म्हणजे आखूड आखूड लहरी डोळ्यांवर पडून क्रमाक्रमानें चकचकीत लाल, नारंगी, पिंवळा, हिरवा, निळा, असमानी आणि किरमिजी किंवा जांभळा असे रंग दिसतात. आणि याप्रमाणें नेत्रांच्या योगानें लहरींच्या निरनिराळ्या लांबींचें आपणास सहज ज्ञान होतें.

पृथग्भूत किरणाच्या निरनिराळ्या भागांत प्रकाशाची तीव्रता कशी असते, हें सोबतच्या आकृतींत (आ. १२९ पहा) जी वक्ररेषा आहे, तिच्या उंचीवरून समजतें. रंगाला नियमित असा भौतिक अर्थ नसतो; कारण निरनिराळ्या पाहणारांस एकच प्रकाश भिन्नभिन्न रंगाचा असाही दिसतो. परंतु लहरींची लांबी ही भौतिक गोष्ट असून तिजविषयीं कांहीं शंका नसते. निरनिराळ्या लांबींच्या लहरी असें आपण व्यवहारांत म्हणत नसून निरनिराळ्या रंगाचे किरण असेंच म्हणतों. तथापि जेव्हां आपण अमक्या रंगाचा किरण असें म्हणतों, तेव्हां विवक्षित लांबीच्या लहरीस अनुलक्षूनच व्यवहारिक रीतीनें आपण बोलत असतों हें उघड आहे.



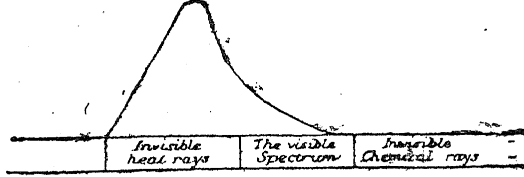
आकृति १२९ वी.

२५९. **ध्वनीशीं साम्य**—याचप्रमाणें ध्वनिशास्त्रांतही भिन्नभिन्न लांबीच्या लहरींपासून भिन्नभिन्न ध्वनि उत्पन्न होतात, व ते आपणास ध्वनीच्या उच्चनीचपणावरून कानानें ओळखतां येतात. यास्तव चक्षुरिंद्रियास जसा रंग आहे, त्याचप्रमाणें कर्णेंद्रियास ध्वनीचा उच्चनीचपणा आहे, व याप्रमाणें दोहोंमध्यें फार निकट असें साम्य आहे.

२६०. **उष्णतेच्या संबंधानें पृथग्भूत किरणाविषयीं विचार**—निरनिराळ्या लांबीच्या लहरींचे उष्णताजनक धर्म पाहण्यास चक्षुरिंद्रियासारख्या सूक्ष्म यंत्राचा उपयोग आपणांस करितां येत नाहीं. फार अरुंद अशा विद्युज्जन्य उष्णतामालेचा आपणास उपयोग केला पाहिजे, आणि ती माला B टोंकापासून A टोंकाकडे फिरवीत नेऊन प्रत्येक ठिकाणीं विद्युन्मापकाचा कांटा किती वळतो, तें पाहिलें पाहिजे.

प्रयोग—सैंधव किंवा खडकी मीठ याचा भरींव त्रिकोण आणि योग्य अशी उष्णतामाला घेऊन हें दाखवितां येईल. हे प्रयोग करितांना असें एकदम आपल्या अनुभवास येतें, कीं पृथग्भूत किरणाच्या डावीकडच्या कोणत्याही भागीं उष्णताजन्य परिणाम फार होतात; आणि स्पष्ट लाल भागीं नेण्यापूर्वींच अत्यंत उष्णताजन्य परि-

णाम घडतो. आणि तेथून कमी कमी होत स्पष्ट लाल भागीं निमा परिणाम राहतो. पृथग्भूत किरणाच्या निरनिराळ्या भागीं उष्णतेची तीव्रता कशी असते, हें बिंदुमय वक्ररेषेनें खालील आकृतींत दाखविलें आहे. (आ. १३० पहा) याचप्रमाणें



आकृति १३० वी.

पृथग्भूत किरणाच्या निरनिराळ्या भागांची रासायनिक तीव्रता कशी असते तीहीं दाखविण्यास वक्ररेषा काढितां येते. व त्यांत असें आढळून येतें कीं, पृथग्भूत किरणाच्या दृश्य भागापलीकडे दुसऱ्या बाजूस जेथें लहरी आंखूड असतात, त्या ठिकाणीं रासायनिक तीव्रता अत्यंत असते.

निरनिराळ्या लांबींच्या लहरींच्या किरणांची संख्या समान आहे, असें आपण समजलों तर त्यांतील लांब लहरींपासून अत्यंत उष्णताजन्य परिणाम घडतो आणि आंखूड लहरींपासून अत्यंत रासायनिक परिणाम घडतो; आणि या दोहोंमधील कांहीं लांबींत अत्यंत प्रकाशमान परिणाम घडतो, असें दिसतें.

२६१. हळूहळू शुभ्रोष्णमानापर्यंत उष्ण केलेल्या पदार्थापासून विसर्जन— जर आपणाजवळ सैंधवाचा भरींव त्रिकोण असेल, आणि फार नाजूक व सूक्ष्म अशी अरुंद उष्णमाला असेल, तर जी गोष्ट पुढें केवळ प्रत्यक्ष घडते एवढेंच सांगणार आहों ती प्रयोगद्वारा सिद्ध करितां येईल.

कलम २५७ यांत दाखविल्याप्रमाणें पडदा व भरींव भिंग वगैरे ठेवून व XY या पडद्यांतील फटीच्या मागें प्रकाशमान पदार्थ ठेवून फटींतून पुढील पडद्यावर पृथग्भूत किरणाची जी प्रतिमा पडते, तिची मर्यादा खडूनें आंखावी; आणि जेथें जे रंग पडतात, त्यांचींही नांवें लिहावीं.

नंतर प्रकाशमान पदार्थाच्या जागीं लोखंडी गोटी ठेवून तिला उष्ण करूं लागावें. आरंभीं तिजपासून जे उष्णतेचे किरण विसर्जित होतील, ते प्रकाशहीन असतात म्हणून लाल ही खुणा जेथें केलेली असेल, तिच्या मर्यादेच्या पलीकडे कांहीं अंतरावर पडद्यापुढें माला धरिली असतां तेथें उष्णताजन्य परिणाम अनुभवास येतो. यावरून असें झालें कीं, गोटीपासून फार लांब अशा लहरी मात्र येत आहेत.

गोटीस जसजसें उष्ण करीत जावें, त्याप्रमाणें लाल रंगाच्या मर्यादे जवळ जवळ उष्णताजन्य परिणाम होऊं लागतात. आणि ज्या ठिकाणीं प्रथमतः उष्णताजन्य परिणाम घडले होते, तेथें अधिकाधिक तीव्र परिणाम अनुभवास येऊं लागतात.

पूर्ण पृथग्भूत किरण दिसूं लागतो. यानंतर आंखूड असे अदृश्य रासायनिक किरण येऊं लागून अखेर पृथग्भूत किरणांत येणारे सर्व किरण पडद्यावर येतात, असें रासायनिक परीक्षेवरून समजतें.

हे सर्व परिणाम थोडक्यांत लिहूं. घन पदार्थास साधारण उष्णमानापासून शुभ्रोष्णमानापर्यंत उष्ण करीत गेलें, तर त्यापासून पृथग्भूत किरणांतील सर्व किरण क्रमाक्रमानें निघतात; अत्यंत लांब किरण निघण्यास आरंभ होऊन अतिआंखूड किरण शेवटीं निघतात. आणखी असेंही घडतें कीं ज्याप्रमाणें अधिकाधिक आंखूड किरण निघूं लागतात त्याप्रमाणें पूर्वी निघालेले जे लांब किरण त्यांची तीव्रता वाढत जाते.

उदाहरणार्थ १००° श. उष्णमानावर लोखंडाच्या गोटीपासून फक्त प्रकाशहीन उष्णता निघते. परंतु तीच गोटी शुभ्रोष्ण झाल्यावर प्रकाशमान किरण निघून शिवाय प्रकाशहीन किरण फार निघतात. ही गोष्ट फार महत्वाची असून लक्षांत ठेवण्याजोगी आहे.

२६२. **विशिष्ट विसर्जन**—मागील कलमांत घनपदार्थांचें साधारणतः वर्तन कसें घडतें तें सांगितलें. परंतु कित्येक घन पदार्थ व दुसरे कांहीं पदार्थ यांचें वर्तन भिन्न भिन्न रीतीनें घडतें. या पदार्थांस जसें उष्ण करीत जावें त्याप्रमाणें त्यापासून फक्त कांहीं विशेष लांबीच्याच लहरी निघतात. उदाहरणार्थ बनसेनच्या दिव्यांत खनिज कोळशाचा धूर हवेंत मिसळून जळतो, तेव्हां त्यापासून फक्त अदृश्य विसर्जन मात्र घडतें. ह्मणजे ती ज्योत स्पष्ट दिसत नाहीं व तिजपासून विसर्जित झालेले किरणही दिसत नाहींत. तथापि त्या ज्योतीचें उष्णमान इतकें तीव्र असतें कीं तिजमध्यें प्लाटिनमधातूची तार धरिली असतां ती शुभ्रोष्ण होऊन तिजपासून सर्व लांबीच्या लहरी निघतात.

याचप्रमाणें वायु व वाफ यांपैकीं प्रत्येकीपासून ही विशेष लांबीच्या लहरी निघतात. यामुळें यांपासून सर्व रंग असलेला असा पूर्ण पृथग्भूत किरण उत्पन्न होत नसून निरनिराळ्या रंगाच्या रेषा पसरलेल्या दिसतात; व याच तत्त्वावर पृथग्भूत किरणाच्या सहाय्यानें पदार्थांचें पृथक्करण करण्याची रीति निघाली आहे.

२६३. **विशिष्ट शोषण**—कित्येक पदार्थ कांहीं विशेष रंगाचें शोषण करितात व दुसऱ्याचें परावर्तन करितात, असेंही अनुभवास येतें. उदाहरणार्थ जिरेनिअम हें फुलझाड लाल दिसतें. याचें कारण असें आहे कीं तें हिरव्या रंगास शोषण करून फक्त लाल रंगाचें मात्र त्यापासून आपल्या नेत्रांकडे परावर्तन होतें.

लाल कांच लाल दिसते. याचें कारण जो शुभ्र प्रकाश तिजमधून जातो, त्यापैकीं हिरव्यास शोषण करून फक्त तांबड्यास मात्र नेत्राकडे येऊं देते. अदृश्य अशा किरणांचाही हाच प्रकार होतो. सैंधव अदृश्य व दृश्य अशा कोणत्याही किरणांस

शोषण करीत नाहीं. काजळ सर्वांस शोषण करितें. विशिष्ट शोषणाचीं आणखीं कांहीं उदाहरणें देऊं.

उदाहरण १.—कलम २५४ यांत असें आपण पाहिलें कीं, १००° श उष्णमानावर असलेल्या चौकोनी डब्यापासून निघालेले अदृश्य किंवा प्रकाशहीन उष्णतेचे किरण सफेता शोषण करितो. त्याचप्रमाणें काजळही शोषण करितें. परंतु सफेता पांढरा असतो, म्हणून सर्व दृश्यकिरण त्याजपासून परावर्तन पावतात.

उदाहरण २.—साध्या कांचेंतून उष्णतेचे सर्व दृश्य किरण पार जातात, परंतु आरक्तोष्णमानाच्या पूर्वींचे जे अदृश्य किरण त्यांपैकीं पुष्कळांस कांच शोषण करिते. याविषयीं कांहीं प्रयोग देतों.

प्रयोग (अ)—सैंधवाच्या प्रिझमाचा उपयोग करून जर पृथग्भूत किरण पाडिला तर लालप्रदेशाच्या पलीकडे अत्यंत उष्णता अनुभवास येते. परंतु प्रिझम गरम होत नाहीं. त्याच्या जागीं जर कांचेच्या तुकड्याचा म्हणजे प्रिझमाचा उपयोग केला तर याच प्रदेशांत एकदम उष्णता पुष्कळ कमी भासूं लागते, व कांच उष्ण होते. यावरून ती प्रकाशहीन किरणास शोषण करिते, असें दिसतें.

प्रयोग (ब)—ज्यापासून प्रकाशहीन असे उष्णतेचे किरण निघत आहेत, अशा १००° श उष्णमानावर असलेल्या चौकोनी डब्यापुढें उष्णमाला किंवा भेदोष्णमापक ठेवून कांटा किती वळतो, किंवा भेदोष्णमापक किती उतरतें, तें पाहावें. नंतर मध्यें तावदानी कांचेचा तुकडा धरावा, म्हणजे तत्काळ कांहीं उष्णता शोषली जाऊन कांटा तितका वळणार नाहीं. तथापि दृश्य अशा उष्णतेच्या किरणास कांच शोषण करीत नाहीं.

उदाहरण (३).—पाणी आणि बर्फ उष्णतेच्या प्रकाशहीन किरणांस शोषण करितात. परंतु दृश्य किंवा प्रकाशमान किरणांस शोषण करीत नाहीं. फार पातळ असें कांचेचें भांडें पाण्यानें भरून त्यानें हें पाहतां येतें.

उदाहरण (४)—पाण्याची वाफ, दुसरे कित्येक संयुक्त वायु व वाफा, सुवास येणारा असा कोणताही वायु या सर्वांतून प्रकाशाचे किरण पार जातात; परंतु त्यांतून प्रकाशहीन असे किरण पार न जातां शोषले जातात असें टिंडाल यानें शोधून काढिलें आहे.

उष्णमाला, १००°श वर असलेला चौकोनी डबा, व एका नळीच्या दोहों तोंडांवर सैंधवाचे तुकडे बसवून तसली केलेली नळी घेऊन टिंडाल यानें हे प्रयोग केले. डब्यापासून प्रकाशहीन किरण निघत असत, आणि नळींत वायु किंवा वाफ तो भरीत असे.

उदाहरण (५)—कार्बानच्या द्विसल्फाइडामध्यें आयोडीन विद्रुत करून तयार केलेला दाट द्रव घेतला, तर त्यांतून प्रकाशाचे किरण पार जात नाहींत, परंतु प्रकाशहीन असे उष्णतेचे किरण पार जातात.

२६४. शोषण आणि विसर्जन यांमधील संबंध—शोषण आणि विसर्जन यांमध्यें जो महत्वाचा संबंध असतो, त्याचा आतां आपणांस चांगला विचार करितां येईल. प्रयोगांवरून जें अनुमान निघतें, तें खालीं दिलें आहे. जे चांगले विसर्जक

२६५. कांहीं विशेष घनपदार्थांची शोषक व विसर्जक शक्ति—उदाहरण (१)—आपणास मागें समजलें आहे कीं, काजळ प्रकाशहीन व प्रकाशमान अशा सर्व किरणांस शोषण करितें. आतां त्यास जर उष्ण केलें, तर तें शुभ्रोष्ण होईल, म्हणजे तें प्रकाशमान व प्रकाशहीन अशा दोहों जातींच्या किरणांस विसर्जित करील. शुभ्रोष्ण अशा कार्बोनापासून पडलेले जे पृथग्भूत किरण त्यांची परीक्षा करून फार सूक्ष्म रीतीनें हें आपणांस सिद्ध करितां येतें.

उदाहरण (२) साधारण कांच प्रकाशहीन किरणांस मात्र शोषण करिते. तिला जर उष्ण केलें तर तिजपासून प्रकाशहीन किरण पुष्कळ विसर्जन पावतात, परंतु प्रकाशमान किरण कमी विसर्जन पावतात. कार्बोनास इतकेंच उष्ण केलें असतां जितके प्रकाशमान किरण विसर्जन पावतात, त्याहून कांचेपासून कमी पावतात.

प्रयोग—तावदानी कांचेच्या तुकड्यास बनसेन दिव्याच्या रंगहीन ज्योतींत उष्ण करून वरील गोष्टीचा खरेपणा दाखवितां येतो.

उदाहरण (३).—हिरव्या कांचेचा तुकडा हिरवा दिसतो. याचें कारण तो लाल किरणांस शोषण करितो हें होय. तसेंच लाल कांच लाल दिसते. याचें ही कारण ती हिरव्या किरणांस शोषण करिते.

प्रयोग—हिरव्या कांचेस उष्ण करावें, म्हणजे तिचा तांबूस प्रकाश पडतो; तांबड्या कांचेस उष्ण केलें तर हिरवट प्रकाश पडतो.

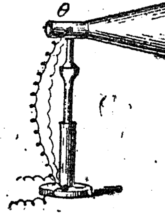
कित्येक पदार्थांच्या शोषक व विसर्जक शक्तींचें कोष्टक खालीं दिलें आहे.

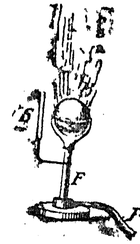
पदार्थ.	१००° च्या उष्णमाना-च्या पदार्थापासून आलेल्या किरणांचें शोषण.	१००° च्या उष्णमाना-च्या पदार्थापासून विसर्जन.	पदार्थ.	१००° च्या उष्णमाना-च्या पदार्थापासून आलेल्या किरणांचें शोषण.	१००° च्या उष्णमाना-च्या पदार्थापासून विसर्जन.
काजळ	१००	१००	लाख	७२	७२
सफेता	१००	१००	धातु (सरासरी)	१३	१२
कांच	१००	१००	सैंधव.........	७	......
शाई	८५	८५			

२६६. वायूंची शोषक व विसर्जक शक्ति—निरनिराळ्या वायूंची शोषक शक्ति कशी असते हें काढिल्यावर **टिंडाल** यानें त्यांच्या विसर्जक शक्ति काढिल्या. नळीच्या आकाराच्या बनसेनच्या दिव्याच्या नळींतून निरनिराळ्या वायूंस लालभडक

अशा लोखंडी गोळ्यावर सोडून त्यांचा उष्ण झालेला स्तंभ वर जाऊं दिला; या स्तंभापुढें उष्णमाला ठेवून प्रत्येकापासून उष्णतेचें विसर्जन कसें झालें तें त्यानें पाहिलें. पाण्याच्या वाफेनें १००°श उष्णमानावर ठेविलेल्या छोट्या नळींतून वायूंस सोडूनही ते प्रयोग करितां येतील.

प्रयोग—F हा नळीच्या आकाराचा खनिज कोळशाचा धूर जाळण्याचा दिवा आहे, याच्या तोंडावर B हा उष्ण केलेला गोळा आहे. P या नळीनें निरनिराळे वायु उभ्या F नळींत सोडितां येतात. θ ती उष्णताजन्यविद्युन्माला आहे. S हा





आकृति १३१ वी.

जिल्हईदार धातूच्या पत्र्याचा पडदा गोळ्याच्या आड आहे व त्यामुळें त्याची उष्णता मालेकडे जात नाहीं. प्रथमतः P नळींत शुष्क हवा जोरानें सोडिली आणि नंतर तैल (आलीफिअंट) वायु सोडिला, तर तैल वायूच्या वेळीं विद्युन्मापकाचा कांटा फार वळतो. परंतु हवा सोडिल्यावेळीं मुळींच वळत नाहीं.

आरक्तोष्णमानाहून कमी उष्णमान असतां खालील कोष्टकांत दिल्याप्रमाणें विसर्जक शक्ति असतात.

वायु.	विसर्जक शक्ति.	शोषक शक्ति.
हवा	फारसूक्ष्म	फारसूक्ष्म.
आक्सिजन	,,	,,
नैत्रोजन....................................	,,	,,
हैद्रोजन....................................	,,	,,
कार्बोनिक आक्साइड	१२	१८
कार्बोनिक आसिड	१८	२५
नैत्रस आक्साइड	२९	४४
तैल (आलीफिअंट) वायु	५३	६१

प्रयोग करण्याची वरील स्थूल रीति असल्यामुळें अर्थात विसर्जक परिणामही स्थूल आहेत. तथापि यावरून एवढें साधारणपणें स्थापित झालें कीं वायूची घटना

झालेल्या किरणांशीं वर्तन—असें आपल्या अनुभवास आलें आहे कीं पदार्थास उष्ण केलें म्हणजे ज्या प्रकारच्या किरणांस शोषण करण्याची पदार्थाच्या आंगीं शक्ति असते त्याच प्रकारचे म्हणजे त्याच लांबीच्या लहरींचे किरण, त्यास उष्ण केल्यावर, त्यापासून विसर्जित होतात.

यास्तव असें स्वाभाविक दिसतें कीं, विवक्षित पदार्थ, त्याच जातीच्या दुसऱ्या उष्ण केलेल्या पदार्थापासून विसर्जित झालेल्या किरणांस विशेषेंकरून जास्त शोषण करील. प्रत्यक्ष प्रयोगावरून अशीच गोष्ट अनुभवास येते.

उदाहरण (१)—हैड्रोजनवायु हवेंत जळत असतां त्याच्या ज्योतीपासून जी उष्णता विसर्जित होते तिला पाण्याची वाफ फार शोषण करिते. हैड्रोजन वायु हवेंत जळतो तेव्हां पाणी बनतें : म्हणून हैड्रोजनाच्या ज्योतीपासून जी उष्णता विसर्जित होते ती सर्व या उष्ण झालेल्या पाण्याच्या वाफेपासून निघालेली असते.

उदाहरण (२)—पृथग्भूत किरणाच्या दृश्य किरणांविषयीं अनेक असलीं उदाहरणें देतां येतील. सोडिअम धातूच्या फार उष्ण झालेल्या वाफेपासून निघालेल्या चकचकीत पिंवळ्या प्रकाशास कमी उष्णमानावर असलेली व फारसा प्रकाश जीपासून पडत नाहीं अशी सोडिअम धातूची वाफ शोषण करिते.

प्रयोग—बंनसेनच्या दिव्याच्या ज्योतींत प्लाटिनमधातूच्या तारेच्या टोंकावर सोडिअम कार्बोनेट (पापडखार) याचा मणी बनविला म्हणजे त्यापासून सोडिअमच्या वाफेचा पिंवळा प्रकाश पडतो. त्यापुढें मद्यार्काच्या दिव्याच्या वातीवर थोडा पापडखार घालून ती ज्योत धरावी. या ज्योतीपासून फार प्रकाश पडणार नाहीं. परंतु ती पहिल्या ज्योतीच्या चकचकीत प्रकाशास शोषण करील.

पृथग्भूत किरणानें पदार्थाचें पृथक्करण करण्याची जी रीति आहे तिचें अध्ययन करितांना या विषयाची चांगली माहिती करून घेतां येते. त्या रीतीचें विवेचन प्रकाशशास्त्रांत चांगलें केलेलें असतें, व तो विषय प्रकाशशास्त्राचाच आहे.

२६८. **पदार्थांतून पार जातांना किरणांचें संशोधन**—जो पदार्थ विशेष लांबीच्या लहरींच्या किरणांस शोषण करितो अशा पदार्थांतून मिश्र किरणांचा समुदाय गेला म्हणजे सकृद्दर्शनीं डोळ्यांस कांहीं फरक दिसणार नाहीं. परंतु एकांतून पार आलेले किरण तसल्याच दुसऱ्या पदार्थांतून जाऊं लागले म्हणजे त्यांचें वर्तन अगदीं भिन्न घडतें असें अनुभवास येईल.

उदाहरणार्थ, पाण्यांतून किरणसमुदाय गेला म्हणजे पाणी प्रकाशहीन अशा बहुतेक किरणांस शोषण करितें. परंतु पाण्यांतून बाहेर पडलेल्या किरणांत दुसऱ्या पाण्याच्या थरानें शोषण करण्याजोगे फारच थोडे किरण असतात.

म्हणून कांच, पाणी, वगैरे अनेक पदार्थांतून भिन्नभिन्न जातीच्या किरणांच्या समुदायास जाऊं दिलें म्हणजे दरवेळीं त्यांचें शोधन झाल्यामुळें पुढें पुढें त्या किरणांत कमी कमी फरक होत जाऊन अखेरीस तसल्या दुसऱ्या पदार्थांतून जशाचे तसे ते पार जाऊं लागतात. परंतु जेव्हां सर्व किरण एकाच जातीचे असतात, तेव्हां सारख्या जाडीचा प्रत्येक पदार्थ त्यावर पडलेल्या किरणांचा सारखाच अंश शोषण करितो.

प्रयोग—सैंधवांतून प्रकाशहीन व प्रकाशमान असे दोन्ही जातीचे किरण बहुतेक जशाचे तसे पार जातात; परंतु पाण्यांतून किंवा बर्फांतून प्रकाशमान किरण मात्र पार जातात; आणि सर्व प्रकाशहीन किरण शोषले जातात. याकरितां विद्युत्प्रकाशाची किरणछटा सैंधवाच्या लेन्सांतून पार जाऊं दिली, तर तिच्या अंगीं बर्फास वितळविण्याची शक्ति असते. परंतु तीच किंवा त्याहून जोराची सूर्यकिरणांची छटा पाण्यांतून किंवा बर्फांतून जाऊं दिली, तर सर्व प्रकाशहीन किरण शोषले गेल्यामुळें तिच्या अंगीं बर्फ वितळविण्याची शक्ति राहत नाहीं.

२६९. **किरणांचें रूपांतर**.—कित्येक पदार्थांवर साधारण प्रकाश पडला म्हणजे एका चमत्कारिक अशा जांभळ्या व कधीं कधीं हिरवट रंगाची झांक मारते, असें अनुभवास येतें. क्विनाइनच्या सल्फेटाचा द्रव (म्हणजे जें कोइनेल आपण तापावर घेतों त्याचा द्रव) याच्या अंगीं हा धर्म विशेष असतो. यावरून असें दिसतें कीं त्यावर जे किरण पडतात त्यांचा जांभळा भाग जणू काय महत्कृत होतो; म्हणजे त्याची झांक वाढते.

वास्तविक काय प्रकार घडतो तो प्रोफेसर स्टोक यानें शोधून काढिला. मागें असें सांगितलें कीं पृथग्भूत किरणाच्या जांभळ्या भागाच्या पलीकडे किरणांचा बराच समुदाय असतो व तो अगदीं अदृश्य असतो. कारण हे किरण इतक्या आखूड लहरींचे असतात कीं त्यांचा डोळ्यावर कांहीं परिणाम घडत नाहीं. परंतु यांच्या अंगीं तीव्र रासायनिक धर्म असतात. हे किरण वर सांगितल्या तऱ्हेच्या पदार्थांवर पडतात, तेव्हां ते शोषले जातात; आणि पूर्वींच्याहून जास्त लांब लहरींचे असे दृश्य जांभळे किरण टाकण्याचा धर्म पदार्थाच्या अंगीं येतो.

यास्तव याविषयीं आपणास असें म्हणतां येईल कीं अशा पदार्थांच्या योगानें अदृश्य अशा जांभळ्या किरणांचें दृश्य व कमी वक्रीभवन पावणाऱ्या अशा जांभळ्या किरणांमध्यें रूपांतर होतें. अशा पदार्थांस इंग्रजींत फ्लोरेसंट पदार्थ असें म्हणतात.

प्रयोग (१)—क्विनाइनच्या सल्फेटाच्या द्रवानें वरील गोष्ट सहज दाखवितां येते.

प्रयोग(२)—प्रथम पडद्यावर पृथग्भूत किरण पाडावा नंतर पडदा क्विनाइन् सल्फेटाच्या द्रवानें धुवावा. म्हणजे प्रकाशहीन किरणांचा प्रदेश जांभळ्या प्रकाशानें चमकूं लागतो.

अदृश्य व प्रकाशहीन किरण बऱ्याच तीव्रतेचे असले, म्हणजे याच रीतीनें बहुतेक सर्व घनपदार्थांच्या योगानें त्यांचें रूपांतर होऊन कमी लांबीच्या लहरींचे दृश्य आणि जास्त वक्रीभवन पावणारे असे किरण बनतात.

प्रयोग—आयोडीन याच्या फार अपारदर्शक अशा द्रवानें एक पोकळ लेन्स

भरून त्याच्या योगानें विद्युत्प्रकाशाच्या किरणांतील प्रकाशहीन किरणांचें अदृश्य अशा केंद्रांत एकीकरण करावें. नंतर या केंद्रांत लांकडी कोळसा किंवा दुसरा कोणता तरी शोषक पदार्थ धरिला तर त्यापासून लवकर लाल किंवा शुभ्र प्रकाश पडूं लागेल.

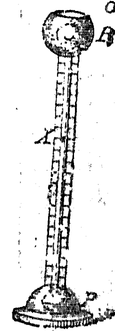
यावरून जरी तो पदार्थ (कोळसा वगैरे) दीर्घ अशा प्रकाशहीन किरणांनींच उष्ण झाला तरी त्यापासून सर्व प्रकारचे किरण निघाले. या चमत्कारास **क्यलारिसेन्स** असें ह्मणतात.

प्रयोग (२)—पाण्याच्या थरांतून सूर्यप्रकाशाचा किरण जाऊं दिला म्हणजे त्यांतील सर्व प्रकाशहीन किरण शोषले जातील. तथापि तसला संशोधित किरण कोळशावर पडला तर कोळसा उष्ण होतो, आणि त्यापासून प्रकाशहीन असे उष्णतेचे किरण निघतात. हें वरच्या उलट रूपांतर घडतें.

२७०. **कांचेच्या घरांचें कार्य**—याचप्रमाणें हवेंतील पाण्याची वाफ व कांच सूर्य प्रकाशाच्या किरणांतील प्रकाशहीन उष्णतेच्या किरणांस शोषण करितात. परंतु जे लाल व पिंवळे किरण कांचेच्या घराच्या आंतील जमिनीवर पडतात त्यांचें प्रकाशहीन अशा उष्ण किरणांमध्यें रूपांतर होतें. म्हणून त्यांस कांच शोषण करिते व बाहेर जाऊं देत नाहीं. ह्मणून कांचेच्या घराचा सूर्याचे किरण धरण्यास पाशासारखा किंवा सांपळ्यासारखा उपयोग होतो. कांच प्रकाशमान किरणांस आंत सोडिते. परंतु त्यांस जमिनीनें शोषण केल्यावर त्यांचें प्रकाशहीन किरणांमध्यें रूपांतर होतें. यामुळें त्यांस बाहेर जाऊं देत नाहीं. यामुळें शीत कटिबंधांत या रीतीनें कांचेच्या घरांत उष्णतेचा संचय करून उष्णदेशांतील झाडें वाढवितात.

पृथ्वी आणि सूर्य यांपासून किरणविसर्जन. दहिंवर.

२७१. **लेस्लीचें आकाशमापक (इथ्रिआस्कोप)**—पृथ्वीपासून अवकाशांत नेहमी उष्णता विसर्जित होते, व तिला सूर्य, ढग इत्यादिकांपासून उष्णता मिळत असते. हा विनिमय आकाशमापक यंत्रानें स्पष्ट दिसतो. O आणि P हे दोन हवा असलेले फुगे एका लांब नळीनें जोडलेले आहेत. या नळींत X हा द्रवाचा लहान दर्शक आहे, व बाहेर एक लांकडी मानपट्टी आहे. तिजवरून तो दर्शक वर खालीं किती सरला, हें समजतें. (आ. १३२ पहा). खालील P फुग्या भोंवतीं चकचकीत व जिल्हईदार धातूचें आच्छादन आहे, आणि यामुळें त्याचें उष्णमान नेहमी हवेच्या उष्णमानाइतकें राहतें. दुसरा फुगा काळा केलेला असून तो वरच्या बाजूस आकाशाकडे असतो; आणि पृथ्वीपासून जी उष्णता विसर्जित होते, तिचें कार्य फुग्यावर होऊं नये, ह्मणून त्याच्या सभोंवतीं माथ्यावर उघडा असा धातूच्या पत्र्याचा B फुगा असतो.



आ. १३२ बी.

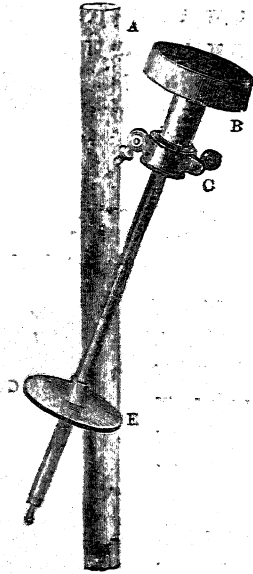
खालचा P फुगा हवेच्या उष्णमानावर कायम राहतो, आणि वरचा O फुगा आ-

काशाकडे उष्णता विसर्जित करितो व त्यापासून शोषणही करितो. जेव्हां त्यावरून एखादा ढग जातो, तेव्हां O फुग्यास जास्त उष्णता मिळते आणि तेणें करून त्यांतील हवा प्रसरण पावल्यामुळें मधल्या नळींतील X दर्शक खालीं जातो. जेव्हां आकाश निरभ्र व स्वच्छ असतें, तेव्हां त्यास कमी उष्णता मिळते, आणि जी उष्णता मिळते, त्यांतून जास्त उष्णता विसर्जित झाल्यामुळें O फुगा शीत होतो, आणि X दर्शक चढतो.

कित्येक वेळां असें घडतें कीं, जरी दोन्ही दिवशीं आकाश दिसण्यांत सारखेंच स्वच्छ दिसलें तरी या यंत्रावरून जास्त किंवा कमी प्रमाणानें अदृश्य अशी पाण्याची वाफ हवेंत असल्याचें स्पष्टपणें या यंत्रानें समजून येतें.

१७८. **सूर्याची उष्णता मापण्याचें यंत्र**—(पिर्‍हेलियामेटर) सूर्यापासून दर सेकंदास जी उष्णता मिळते, ती मापण्याकरितां खालीं वर्णन केलेलें यंत्र **पौइलेट** यानें शोधून काढिलें. (आ. १३३ पहा).

यांत चपट्या पंचपात्राच्या आकाराचा फार पातळ अशा तांब्याच्या पत्र्याचा केलेला (आकृतींत दाखविल्या सारखा) AB हा डबा असतो. याचा वरचा भाग काजळानें मढविलेला असतो, आणि तळाच्या मध्यांत C नळी बसविलेली असते. A B डब्यांत पाणी असून C नळींतून त्यांत एक उष्णमापक बसविलें आहे. उष्णमापकाचा फुगा पाण्यांत बुडालेला असून त्याची नळी बाहेर आलेली आहे. फुग्यावरील नळीवर दुसरी एक नळी बसविलेली आहे, व तिला एक फट असून तिजमधून उष्णमापकाचे अंश पाहतां येतात. C नळीच्या खालच्या बाजूस A B डब्याच्या आकाराचा D E वर्तुळाकार पत्रा असा बसविलेला आहे कीं, A B आणि D E परस्पर समांतर असून त्यांस जोडणाऱ्या C नळीशीं काटकोनाकार आहेत. D E नळीचा असा उपयोग होतो कीं, A B डबा थेट सूर्याकडे वळविलेला आहे, किंवा नाहीं हें त्याची जी सावली बरोबर D E वर पडते, त्यावरून समजतें. A B डब्यांतील पाणी आणि त्यांतील उष्णमापक या दोहोंचा उष्णतामापकाप्रमाणें उपयोग होतो.



आ. १३३ वी.

हें यंत्र घेऊन खालीं लिहिल्याप्रमाणें प्रयोग करितां येतो.

(१) सारें यंत्र पत्र्याच्या आच्छादनाखालीं ठेवावें, म्हणजे आच्छादनाखालच्या हवेचें जें उष्णमान असेल, तेंच A B डब्यांतील पाण्याचें होतें. यास हवेचें उष्णमान असें म्हणूं.

(२) सूर्याचें ऊन न पडूं देतां A B डब्यास स्वच्छ आकाशाकडे फिरवून पांच मिनिटें सावलींत ठेवावें; आणि विसर्जनानें किती उष्णमान उतरतें, तें पाहावें. तें $उ_१^\circ$ उतरलें असें समजूं.

(३) नंतर डबा थेट सूर्याकडे फिरवून ५ मिनिटांत किती अंश उष्णमान चढतें, तें पाहावें; तें स° चढलें असें समजूं.

(४) नंतर पुनः सूर्याआड पत्रा धरून स्वच्छ आकाशाकडे पांच मिनिटें डबा फिरवावा, आणि उष्णमान किती उतरतें हें पाहावें. तें $उ^\circ_२$ उतरलें असें समजूं.

या प्रयोगांपासून अनुमान—जेव्हां सूर्याकडे डबा फिरविला होता, तेव्हां यंत्राचें उष्णमान चढत होतें. परंतु त्या वेळीं विसर्जनानें कांहीं उष्णमान उतरतही होतें. या वेळीं एकंदर उष्णमान किती उतरलें, तें प्रयोग २ आणि ४ या दोहोंत जें उष्णमान उतरलें असेल, त्याच्या सरासरी बरोबर आहे, असें म्हटलें असतां चालेल: याचा अर्थ असा कीं, सूर्यापासून ५ मिनिटेंपर्यंत उष्णता यंत्रास मिळत मात्र असून कांहीं विसर्जनानें जात नव्हती, असें जर आपण समजलों, तर सूर्याच्या उष्णतेनें स उष्णमान चढलें आहे, त्याहून $\frac{उ_१+उ_२}{२}$ इतकें उष्णमान जास्त चढलें असतें. म्हणून सूर्याकडे डबा फिरविल्यामुळें ५ मिनिटांत जें उष्णमान चढलें, हें वास्तविक खालीं दिल्याइतकें होतें.—

$$\left[स+\frac{उ_१+उ_२}{२}\right] \text{ अंश}$$

आतां जी उष्णता डब्यावर पडते, तितकी सर्व त्यास लाविलेलें काजळ शोषण करितें. ज्या डब्यांत पाणी आहे, त्या डब्याचें द्रव्य ही उष्णता शोषण करितें, व त्याचेंही उष्णमान त्यांतील पाण्याइतकेंच चढतें. यांत जी उष्णता खर्च होते, त्या उष्णतेनें किती पाण्याचें उष्णमान तितकें चढेल, हें पाहून तेंही पाणी डब्यांतील पाण्यांत मिळविलें पाहिजे म्हणजे सूर्यापासून एकंदर उष्णता किती मिळाली, हें समजेल. डब्यांतील पाणी व डब्याच्या वगैरे द्रव्याच्या बरोबरीचें पाणी अशीं दोन्ही मिळून प समजल्यास ५ मिनिटांत सूर्यापासून मिळालेली जी एकंदर उष्णता विवक्षित क्षेत्रानें शोषण केली, ती खालीं दिल्याइतकी होईल.

$$प+\left[स+\frac{उ_१+उ_२}{२}\right] \text{ अंश}$$

सूर्यापासून पृथ्वीस मिळालेली एकंदर उष्णता—अशा तऱ्हेचे प्रयोग करून पोइलेट यानें असा हिशेब केला आहे कीं, एका वर्षांत पृथ्वीस जी सूर्यापासून उष्णता मिळते, त्या उष्णतेनें सर्व पृथ्वीवर ३० मात्रा ह्मणजे सुमारें १०० फूट जाडीचा बर्फाचा थर असल्यास वितळेल.

२७२. **दहिंवर**—पृथ्वीवर दहिंवर कसें पडतें, याचें स्पष्टीकरण विसर्जनानें होतें. दहिंवर पडण्याच्या संबंधानें खालील गोष्टी अनुभवास येतात.

(१) ज्या रात्रीं आकाश स्वच्छ व निरभ्र असतें, त्या रात्रीं दहिंवर फार पडतें.

(२) ज्या जागा आच्छादलेल्या नसून उघड्या असतात, त्यांवर दहिंवर फार पडतें.

(३) जेव्हां वारा नसतो, तेव्हां दहिंवर फार पडतें.

(४) उंच झाडांवर दहिंवर न पडतां ठेंगण्या झाडांवर व जमिनीवर फार पडतें.

(५) गवत, लोंकर व दुसरे अवाहक पदार्थ यांवर दहिंवर पडतें, परंतु शीघ्र वाहकांवर पडत नाहीं.

डाक्टर वेल्स यानें याविषयीं अनेक प्रयोग केले. त्यानें निरनिराळ्या स्थितींत पिंजलेला कापूस ठेवून त्यावर दंव कसा पडतो तें पाहिलें. झाडाखालीं, उघड्या जागीं, उंच ठिकाणीं, खोल जागीं असा कापूस ठेवून त्याचें पूर्वी व मागून वजन करून निरनिराळ्या स्थितींत कसा दंव पडला त्याची तुलाना केली. त्यावरून त्यानें असें अनुमान काढिलें कीं विसर्जनानें पृथ्वीचा पृष्ठभाग शीत होणें हेंच दंव पडण्यास मुख्य कारण असतें. येणेंकरून त्या पृष्ठभागावरची त्यास लागून असलेली हवा शीत होऊन तिचें उष्णमान दंव पडण्याच्या उष्णमानाहून कमी होतें. आणि तसें झाल्यावर हवेंतील वाफ थिजून दंव पडतें. यास्तव ज्या कारणानें पृथ्वीच्या शीत होण्यास, व त्यामुळें त्यावरच्या हवेच्या शीत होण्यास अडथळा येतो त्याच कारणानें दंव पडण्यासही अडथळा होतो.

दंव पडण्यास अनुकूल अशा ज्या गोष्टी वर सांगितल्या त्यांचीं कारणें अशीं देतां येतात.

(१) रात्रीं आकाश स्वच्छ व निरभ्र असलें म्हणजे विसर्जन अबाधित चालून पृष्ठभाग फार शीत होतो, परंतु ढग असले म्हणजे त्यांपासून उलट विसर्जन होऊन पृष्ठभाग कमी शीत होतो.

(२) झाडांखालीं व दुसऱ्या आच्छादनाखालीं विसर्जनानें उष्णता आल्यामुळें शीत होण्यास प्रतिबंध होतो.

(३) पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरच्या हवेंत वाऱ्यानें वरचेवर जलद फेरबदल होत असल्यानें कोणतीच हवा व्हावी तितकी शीत होत नाहीं.

(४) उंच झाडांवरील हवा शीत होतांच जड होऊन खालीं उतरते, व खालची उष्ण व ताजी हवा वर जाते. म्हणून तेथील हवा व्हावी तितकी शीत होत नाहीं.

(५) वाहक पदार्थानें जमिनींतील उष्णता हवेस पोंचते, व यामुळें शीत होण्यास प्रतिबंध होतो.

विसर्जनावर प्रश्न.

(१) सूर्याच्या किरणांचें केंद्रांत एकीकरण करण्यास बर्फाचें भिंग दिलें असतां त्याचा उपयोग कसा करितां येईल ?

(२) हवेंतील पाण्याच्या वाफेचे जे आपणास महत्वाचे उपयोग होतात त्यांपैकीं कित्येकांचें वर्णन कर.

(३) न्युटन याचा सिद्धांत खरा आहे असें समजून पुढील उदाहरण सोडवाः— एका खोलीचें उष्णमान ६०° फा. आहे. याच खोलींत १८०° फा. उष्णमानावर असलेलें उष्णमापक ठेविलें तें एका मिनिटानें १४०° फा. वर उतरलें. तर आणखी एका मिनिटानें त्याचें उष्णमान काय होईल ?

(४) जाड अशा कांचेच्या भांड्यांत आयोडिनाचा द्रव आहे. त्यावर सूर्याचा किरण पडला तर त्यावर द्रवाचा काय परिणाम होईल ?

(५) उष्ण केलेली शुष्क व आर्द्र हवा यांपासून अप्रतिबंधक विसर्जन चाललें आहे. दोहोंपासून काय परिणाम घडतील तें सकारण सांगा.

(६) **युरेनस** हा तारा पृथ्वीपासून इतका अतिशय लांब आहे कीं तो सूर्यावरील मनुष्यास आपणास गुरू दिसतो तितका मोठा दिसतो. तर त्यावरील वातावरण कोणत्या जातीचें असावें व त्या ताऱ्याचा दृष्टभाग कोणत्या प्रकाराचा असावा म्हणजे त्यावर अत्यंत थंडी पडणार नाहीं.

(७) चंद्रावर वातावरण नाहीं. याकारितां तेथील दरमाही उष्णमानावर याचा काय परिणाम घडेल ?

(८) वायूच्या योगानें जो पृथग्भूत किरण बनतो त्यांत चकचकीत रेषा असून त्यांमध्यें रंगहीन अवकाश असतात. वायूंच्या अणूंस जी गति असते तिच्या संबंधानें याचा अर्थ काय तें सांग.

(९) वायु फार संकुचित असला म्हणजे त्याच्या योगानें सलग पृथग्भूत किरण उत्पन्न होतो. याचें कारण काय व हें आपणास कशावरून ताडितां आलें असतें ?

(१०) खोलीच्या एका बाजूस पिआनो आहे. मध्यभागावर आडव्या ताणलेल्या तारा आहेत व त्यांपलीकडे श्रोते आहेत. असें अनुभवास येतें कीं या तारा कित्येक ध्वनींस अखंड पुढें जाऊं देतात आणि कित्येक ध्वनींस अंशतः शोषण करितात. त्यांस छेडिलें असतां असें आढळतें कीं ज्या ध्वनींस त्या शोषण करीत तेच ध्वनि त्यांपासून निघतात.

यांत आणि उष्णता व प्रकाश यांचें विसर्जन यांत काय साम्य आहे ?

(११) उंचप्रदेशीं हवा थंड कां असते ?

(१२) उंच पर्वताच्या शिखरावर उन्हांत गेलें असतां अंग भाजून फोड येतात. परंतु सावलींत, अगर घरांत गेलें असतां पाण्यास थिजविण्याइतकी थंडी असते. याचें कारण काय ?

(१३) एक फुगा काळा केलेलें भेदोष्णमापक थंड व अंधार असलेल्या खोलींतून उन्हांत नेलें. तर त्यावर कसा परिणाम घडेल?

उन्हांत स्थिर झाल्यावर पुनः थंड खोलींत नेलें; तर काय होईल; उत्तरें देतांना कारणें सांगा.

(१४) परावर्तित प्रकाशानें धूर व धुकें दोन्ही निळीं दिसतात. परंतु पार गेलेल्या प्रकाशानें लाल दिसतात. याचें कारण काय?

(१५) पाराफीनच्या प्रकाशापेक्षां विद्युत्प्रकाश धुक्यांतून थोडा शिरतो. हें खरें असेल तर याचें कारण काय?

(१६) पाण्याची वाफ अगदीं उष्णताभेद्य नाहीं. बनसेनच्या दिव्याच्या ज्योतीपासून जें विसर्जन होतें तें पाण्याच्या वाफेंतून पार जात नाहीं. याचें कारण काय?

(१७) फ्रांकलिन यानें उन्हांत बर्फ ठेवून त्यावर निरनिराळ्या रंगाचे कपडे घातले, आणि जे बर्फांत जास्त खोल गेले ते चांगले शोषक असें त्यानें अनुमान काढिलें. त्यावरून काळ्या रंगाचे कपडे सर्वांत खोल गेले असें त्यास आढळलें.

हें सर्वदा खरें असूं शकत नाहीं याचें कारण काय?

(१८) ज्या दिवशीं हवा शुष्क असते त्या दिवसापेक्षां ज्या दिवशीं हवा फार आर्द्र असते त्या दिवशीं किंवा प्रयोग कांचेच्या घरांत केला असतां वरील परिणाम जास्त ठळक रीतीनें घडतात याचें कारण काय?

(१९) दगडी कोळसे शुभ्रोष्णमानावर असतां त्यांत एक हिरव्या कांचेचा तुकडा टाकिला तर कांच कोळशासारखी शुभ्रोष्ण दिसते. याचें कारण सांग आणि कलम २६५ उदाहरण २ यांत सांगितलेल्या गोष्टीशीं हा परिणाम विरूद्ध नाहीं हेंही स्पष्ट कर.

प्रकरण १३.

उष्णतेविषयीं यांत्रिक किंवा गतिविशिष्ट कल्पना, इत्यादि.

२७४. **उष्णता आणि काम यांमधील संबंध**—उष्णतेविषयीं माहीत असलेल्या सर्व गोष्टींचें ज्या कल्पनेनें स्पष्टीकरण करितां येतें, आणि प्रयोगद्वारा ज्यांची सत्यता स्थापित करितां येते अशीं अनुमानें ज्या कल्पनेपासून पुष्कळ निघतात, अशी जी उष्णतेच्या स्वरूपाविषयीं कल्पना तिजविषयीं आपण प्रकरण १ यांत थोडासा विचार केला. तेथें आह्मी असें म्हटलें (व असें ह्मणण्यास कांहीं कारणेंही दिलीं.) कीं उष्णतेविषयीं प्रतिपाद्य कल्पना अशी आहे कीं, उष्णता पदार्थ नसून केवळ स्थिति आहे. पदार्थास उष्ण केलें म्हणजे त्यांत आपण कांहीं नवीन घालीत नाहीं, पण त्याच्या अणूंस गति मात्र देतों.

रंफोर्ड आणि **डेव्ही** यांनीं असें दाखविलें कीं, केवळ कामाचा व्यय झाला कीं उष्णता प्राप्त होते.

आणि अगदीं अलीकडच्या काळांत असें अनुभवास आलें आहे कीं, उष्णता खर्च करून किंवा तिचा व्यय करून काम करून घेतां येतें.

उष्णता आणि काम यांमध्यें एक प्रकारचा संबंध आहे. आणि हा संबंध किती निकट आहे, हें पुढें स्पष्ट केलें आहे.

ज्यांस गतिशास्त्राची माहिती नाहीं, अशा वाचकांकरितां **प्रेरणा**, **काम**, आणि **कर्तृत्वशक्ति** या शब्दांचे अर्थ प्रथम सांगणें जरूर आहे.

२७५. **प्रेरणेचा (किंवा जोराचा) अर्थ आणि तिचें मापन.**—यंत्रशास्त्रांत **प्रेरणा** या शब्दाचा जो साधारणपणें अर्थ समजतात, त्याची कल्पना वाचकास बरीच आहे, असें आम्ही समजतों. पाणीदार पोलादी कमान वांकविली तर ती कांहीं जोरानें म्हणजे प्रेरणेनें उलगडते. वाफेच्या यंत्राच्या तापकांत वाफ प्रत्येक चौरस इंचावर कांहीं जोरानें दाबते. परंतु ज्या प्रेरणा किंवा जे जोर गुरुत्वशक्तीपासून उत्पन्न झाले आहेत, त्याविषयींच आपण मुख्यत्वें विचार करूं. एक पौंडाचा गोळा कांहीं नियमित जोरानें खालीं पडतो. त्या जोरास **एक पौंड वजन** असें आपण नांव देतों. दोन पौंडांचा गोळा याच्या दुप्पट जोरानें किंवा दोन पौंड वजनानें खालीं पडतो.

ज्यांस गुरुत्व कारण आहे, अशा प्रेरणांशीं तुलना करून दुसऱ्या प्रेरणा किंवा दुसरे जोर मापण्याची साधारण चाल आहे. जसें–कमान कांहीं जोरानें वांकविली आणि तिला जर दोन पौंडांच्या जोरानें त्या स्थितींत बरोबर धरिलें, तर वांकविलेल्या कमानीचा जोर २ पौंड वजनाबरोबर आहे, असें आपणास म्हणतां येईल.

तसेंच प्रत्येक चौरस इंचावर अमुक पौंडाच्या वजनाचा दाब वाफेपासून पडत आहे, असें वाफेविषयीं ह्मणतात. वजन हा शब्द पुष्कळ वेळां गाळतात, आणि दोन पौंडांची प्रेरणा किंवा प्रत्येक चौरस इंचावर २ पौंडांचा दाब असेंच थोडक्यांत म्हणतात.

सारांश या प्रकरणांत एक पौंड वजन हें जोर किंवा प्रेरणा मापण्याचें एक प्रमाण आहे असें समजूं.

टीप—ज्या वाचकांस यंत्रशास्त्र अवगत आहे, त्यांस माहीत आहे कीं, हें प्रमाण प्रेरणेच्या स्वतंत्र प्रमाणाच्या ग पट आहे. यांत **ग** अक्षर ज्या स्थळाचा विचार करीत आहों, त्या स्थळाची गुरुत्वदर्शक शक्ति आहे. तसेंच हेंही त्यांच्या लक्षांत येईल कीं, निरनिराळ्या स्थळीं ग ची किंमत आणि तसेंच एक पौंड गोळ्याचें वजन किंचित् बदलत असतें. त्याविषयीं आह्मी मनांत आणिलें नाहीं. कारण आम्ही शास्त्रीय प्रमाणांचा उपयोग करीत नसून केवळ शिल्पकारांच्या नित्य व्यवहारांतल्या प्रमाणांचा उपयोग करीत आहों.

२७६. **काम याचा अर्थ व त्याचें मापन.**—असें समजा कीं एका बिंदूवर एक प्रेरणा कार्य करीत आहे, आणि तेथून त्या प्रेरणेच्या दिशेच्या विरुद्ध तो बिंदु दुसऱ्या शक्तीनें मागें सरला आहे. तर ज्या बाह्य शक्तीनें हें घडून आलें म्हणजे बिंदूस मागें सारिलें, ती शक्ति त्या बिंदूवर काम करीत आहे, असें ह्मणतात. जेव्हां आपण कमान वांकवितों, किंवा खालून वाफ वर दाबीत असतां त्या दाबाविरुद्ध दट्ट्यास खालीं सारितों, किंवा गुरुत्वाच्या व्यापाराविरुद्ध जेव्हां आपण वजन वर उचलितों, तेव्हां आपण काम करितों.

ज्याप्रमाणें सर्व प्रेरणा मापण्यास पौंड वजन प्रमाणभूत कल्पिलें आहे त्याचप्रमाणें कमानीच्या शक्तीविरुद्ध किंवा वाफेच्या दाबाविरुद्ध, किंवा दुसऱ्या कोणत्याही प्रेरणेच्या किंवा जोराच्या विरुद्ध केलेलें सर्व काम मापण्यास गुरुत्वशक्तीच्या विरुद्ध विवक्षित पौंडांचें वजन विवक्षित उंचीवर उचलण्यांत जें काम होतें तें प्रमाणभूत घेऊं; आणि गुरुत्वाच्या व्यापाराविरुद्ध एक पौंडाचें वजन एक फूट अंतरामधून वर उचलण्यांत जें काम होतें, तें काम मापण्यास एक प्रमाण धरूं.

कामाच्या या एक प्रमाणास **फुटपौंड** असें म्हणतात. गुरुत्वाविरुद्ध एक पौंड वजन एक फूट वर उचलिलें असें जेव्हां आपण म्हणतों तेव्हां एक फूट अंतर लंबरेषेंत मोजलेलें असें समजावें. अगदीं साफ व गुळगुळीत अशा टेबलावर क्षितिजपातळींत एकादें वजन पुढें ढकलिलें, तर आपण (यांत्रिक) काम करीत नाहीं. कामाचीं कांहीं उदाहरणें दिलीं म्हणजे त्यावरून येथें जो कामाचा अर्थ दिला, व तें मापण्याची रीति सांगितली, त्याचें स्पष्टीकरण होईल.

उदाहरणें.

उदाहरण (१) रस्त्यावरून ४० फूट उंचीच्या घराच्या गच्चीवर एक हंड्रेडवेटाचें वजन चढविलें आहे. तर त्यांत किती काम झालें ?

उत्तर—झालेलें काम $=११२ \times ४० = ४४८०$ फुट पौंड.

वजन वर चढविण्याच्या वाटेचा उतार कसा होता, व ती वाट किती वांकडीतिकडी होती, याचा विचार करण्याची गरज नाहीं. उतार कसाही असला, व वाट कशीही वांकडीतिकडी असली, तरी यानें उंचींत फरक पडत नाहीं. कारण जितक्या लंबांतर उंचींतून वजन चढविलें असेल, तिजवर कामाचें परिमाण एकंदरींत अवलंबून असतें. शिडीवरून वजन चढविलें असलें किंवा उतरणीवरून अगर दोरीनें वर ओढून चढविलें असलें तरी उंची कायम असेल तोंपर्यंत काम सारखें होईल.

उदाहरण (२) समुद्राच्या पृष्ठभागावर ६०० फूट उंच असलेल्या दरींतून एका हमालानें समुद्राच्या पृष्ठभागावर २००० यार्ड उंचीवर असलेल्या डोंगराच्या शिखरावर २८ पौंडांचें वजन नेलें आहे. तर त्यानें किती काम केलें ?

ज्या लंबांतर उंचींतून २८ पौंड वजन हमालानें नेलें आहे, ती उंची ६०००—६०० =५४०० फूट आहे. ∴ झालेलें काम=५४००×२८=१,५१,२०० फूट पौंड.

उदाहरण (३) एक कमान ६ इंच अंतरांतून उलगडली आहे. तिचा मूलस्थितींत जाण्याचा जोर आरंभीं २ पौंडांचा होता, व अखेरीस ५ पौंडांचा होता. कमानीचा स्थितिस्थापक जोर आरंभापासून शेवटपर्यंत एकसारखा वाढत जात आहे, असें समजलें तर किती काम झालें तें काढ.

येथें अंतर $\frac{१}{२}$ फूट आहे, आणि सरासरी जोर $\frac{५+३}{२}$=४ पौंड वजन आहे:

∴ काम=$\frac{१}{२}$×४=२ फुटपौंड.

उदाहरण(४.) दर चौरस इंचावर जिचा दाब ४० पौंड आहे अशी वाफ एक चौरस फूट क्षेत्राच्या दट्ट्यावर कार्य करीत आहे. जर वाफेच्या दाबाविरुद्ध ३$\frac{१}{२}$ फूट दट्ट्या आंत सारिला तर किती काम झालें?

एका चौरस फुटावर म्हणजे १४४ चौरस इंचावर ४० पौंडांचा दाब आहे. म्हणून ४०×१४४=५७६० पौंडांच्या वजनाचें कार्य करणारी एकंदर शक्ति आहे.

∴ काम=५७६०×३$\frac{१}{२}$=२०१६० फुट पौंड.

२७६. **कर्तृत्वशक्तीचा अर्थ व तिचें मापन**—काम याची वर व्याख्या दिली. कर्तृत्वशक्तीची व्याख्या देणें आतां सुलभ आहे. **काम करण्याचें जें सामर्थ्य त्यास कर्तृत्वशक्ति** किंवा करामत असें म्हणतात, आणि **तिच्या हातून जें काम होईल त्या कामावरून तिला मापितात.** काम कसें मापावें हें वर सांगितलें आहे.

सर्व प्रकारच्या कर्तृत्वशक्तीचे दोन वर्ग करण्याची साधारण चाल आहे, व ती सोईची आहे. असा भेद करणें वास्तविक बरोबर आहे किंवा नाहीं याचा विचार न करितां याच रीतीनें आम्हीही कर्तृत्वशक्तीचें वर्गीकरण करूं.

यास्तव आम्ही कर्तृत्वशक्तीचे दोन वर्ग करितों. (१) **स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति किंवा काम करण्याचें** सामर्थ्य, आणि (२) **गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति किंवा काम करण्याचें सामर्थ्य.** पहिलीस **संभाव्य कर्तृत्वशक्ति**, आणि दुसरीस **गत्युत्पादक कर्तृत्वशक्ति** अशीं नांवें दिलीं तरी चालेल. या शब्दांचा अर्थ पुढें स्पष्ट करूं.

२७७. **संभाव्य कर्तृत्वशक्ति**—जेव्हां आपण एकादें वजन एका टेंकडीवर चढवितों तेव्हां आपण काम करितों. आतां तें वजन अशा स्थळीं असतें कीं, तें चढविण्यांत जेवढें काम आपण केलें असेल तेवढेंच काम आपणास परत देण्याचें सामर्थ्य त्या स्थानीं असलेल्या वजनाच्या अंगीं असतें. कारण दोरी व कप्पी यांच्या सहायानें तें वजन खालीं येतांना तेवढेंच वजन तितक्या उंचीवर चढूं शकेल. टेंकडीच्या माथ्यावरील त्याच्या स्थानामुळें त्याच्या अंगीं जें काम करण्याचें सामर्थ्य आलें आहे, त्यास **स्थानविशिष्ट किंवा संभाव्य कर्तृत्वशक्ति** असें ह्मणतात.

जेव्हां आपण कमान वांकवितों तेव्हां आपण कांहीं काम करितों; परंतु वांकलेल्या स्थितींत कमानीच्या अंगीं संभाव्य कर्तृत्वशक्ती असते. कारण ती आपलें मुळचें रूप धारण करितांना जेवढें काम आपण तिजवर खर्च केलें असेल, तेवढें ती आपणास परत देऊं शकते. याचप्रमाणें वाफेच्या दाबाविरुद्ध दट्ट्या सारतांना आपण काम करितों, आणि येणेंकरून जेवढें काम केलें आहे, तेवढें आपणास परत देण्याचें सामर्थ्य वाफ आणि दट्ट्या यांच्या अंगीं येतें.

या सर्व गोष्टींत स्थानमाहात्म्यामुळें जें काम होईल, त्यावरून आपण स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति मापितों, किंवा ही स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति उत्पन्न करण्यास जें काम आपण खर्च केलें असेल, त्या कामानें मापितों.

उदाहरण—एका तळ्यांतील २ टन पाण्याच्या अंगीं १० फूट खोल कालव्याच्या संबंधानें किती संभाव्यकर्तृत्वशक्ति आहे ?

तें पाणी खालीं उतरतांना जें काम करूं शकेल, त्यावरून ही शक्ति मापणें झाल्यास जी कर्तृत्वशक्ति तिच्या अंगीं असेल, ती ४,४८०×१०=४४,८०० फूट-पौंड असेल.

"एका विशेष पातळीच्या संबंधानें किती कर्तृत्वशक्ति आहे," असें म्हणणें आपणास भाग पडलें. वास्तविक गोष्ट अशी आहे कीं, दोन विवक्षित स्थानांमध्यें स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति विवक्षित पदार्थाच्या अंगीं किती आली किंवा त्यांतून किती गेली याचा विचार आपणास करावयाचा असतो. एकंदर स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्तीचा स्वतंत्रपणें विचार कर्तव्य नसतो.

२७८. **गत्युत्पादक कर्तृत्वशक्ति**—ज्या रूळांवर घर्षणाचा कांहीं प्रतिबंध होत नाहीं अशा क्षितिजपातळींतील रूळांवरून एक गाडी भरधांव जात आहे, अशी कल्पना करा. जर तिला कांहीं प्रतिबंध झाला नाहीं तर त्याच वेगानें अनंत कालपर्यंत ती तशीच जात राहील. परंतु जर तिला मार्गांत चढण लागली तर तिजवर चढतांना तिचा वेग कमी होत जाईल, आणि कांहीं उंचीवर गेली म्हणजे ती थांबेल.

आतां गाडीस वजन आहे, आणि तें वजन गुरुत्वाकर्षणाच्याविरुद्ध वर चढलें आहे, म्हणून गाडी वर चढण्यांत काम झालें आहे, हें काम कसें झालें, याविषयीं जर विचार केला, तर वर चढण्यापूर्वी जी गाडीच्या अंगीं गति होती, त्या गतीमुळें झालें असें आपणास समजेल.

ह्मणून गाडीच्या आंगीं तिच्या गतीमुळें कर्तृत्वशक्ति होती, ह्मणजे काम करण्याचें सामर्थ्य होतें. अशा कर्तृत्व शक्तीस **गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति** असें ह्मणतात. ही कर्तृत्वशक्ति जर आपणास मापणें आहे, तर पूर्वी सांगितल्याप्रमाणें फुटपौंड हें कामाचें प्रमाण धरून ती जें काम करूं शकेल, त्या कामानें आपणास मापिली पाहिजे.

आतां गतिशास्त्राच्या सिद्धांतावरून असें दाखवितां येईल कीं, **गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति, किंवा गतीमुळें असलेली काम करण्याची शक्ति चल पदार्थाचा पिंड आणि तो ज्या वेगानें चलन पावत आहे, त्या वेगाचा वर्ग या दोहोंच्या प्रमाणांत असतो.** काम मापण्यास जसें आपण पौंड हें वजनाचें प्रमाण आणि फूट हें अंतराचें प्रमाण हीं प्रमाणें घेतों, त्याचप्रमाणें चल पदार्थाचा पिंड मापण्यास पौंड आणि त्याचा दर सेकंदांतील वेग मापण्यास फूट हींच प्रमाणें आपणास घेतलीं पाहिजेत. काल मापण्यास एक सेकंद हें या स्थळीं काळाचें एक प्रमाण घेऊं.

तर ज्याचा पिंड म पौंड आहे, व तो दर सेकंदास व फूट वेगानें चलन पावत आहे त्याची गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति जर सर्व काम करण्यांत खर्च झाली असेल, तर ती $\frac{\text{मव}^2}{६४.४}$ फुटपौंडाबरोबर असते असें दाखवितां येईल.

टीप—ज्या वाचकांस यंत्रशास्त्र अवगत आहे, त्यांस माहीत असेल कीं, जर काम स्वतंत्र मापानें मापिलें तर (प्रेरणेचें स्वतंत्र प्रमाण) × (अंतराचें प्रमाण) याबरोबर कामाचें परिमाण असतें. म्हणून काम $=\frac{१}{२}$ मव^2. परंतु आपण फुटपौंड हें कामाचें प्रमाण धरिलें आहे. आणि पौंड वजन हें प्रेरणेच्या स्वतंत्र प्रमाणाच्या ३२.२ पट आहे. म्हणजे आमचें कामाचें प्रमाण कामाच्या स्वतंत्र प्रमाणाच्या ३२.२ पट आहे. म्हणून ज्यापेक्षां $\frac{१}{२}$मव^2 हें गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्तीचें स्वतंत्र प्रमाणांत मान किंवा माप आहे, त्यापेक्षां तिचें फुटपौंडांत मान,

$$\frac{\frac{१}{२}\text{मव}^2}{३२.२} \text{ किंवा } \frac{\text{मव}^2}{६४.४} \text{ होईल}$$

कांहीं उदाहरणें देतों म्हणजे गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति फुटपौंडाच्या प्रमाणांत कशी मापितात, हें चांगलें समजेल.

उदाहरण (१)—१० पौंडांचा गोळा दर सेकंदास २० फूट या वेगानें चलन पावत आहे. तर त्याच्या आंगीं गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति किती असेल? म्हणजे किती फुटपौंड काम करण्याचें सामर्थ्य त्याच्या आंगीं असेल?

(गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति **ग. क** या खुणेनें दर्शवूं.)

$$\text{ग. क.} = \frac{१० \times २०^2}{६४.४} = \frac{४,०००}{६४.४} = ६२.१ \text{ फुटपौंड.}$$

उदाहरण (२)—२ हंड्रेडवेट वजनाची एक गाडी दरसेकंदास ६० फूट या वेगानें

चालत आहे. जर घर्षणाचा प्रतिबंध होत नाहीं असें घेतलें तर ती गाडी डोंगरावर किती लंबोत्तर उंचीवर चढेल ?

$$\text{ग. क.} = \frac{\text{म व}^2}{६४.४} = \frac{२२४ \times ३६००}{६४.४} \text{ फुटपौंड.}$$

जर ज्या लंबोत्तर उंचीवर गाडी चढेल ती उंची क्ष फूट धरिली, तर २२४ पौंड वजन क्ष फूट उंच चढविण्यांत २२४×क्ष इतकें फुटपौंड काम होईल.

$$\therefore २२४ \times \text{क्ष} = \frac{२२४ \times ३६००}{६४.४}$$

$$\therefore \text{क्ष} = \frac{३६००}{६४\text{-}४} = \frac{९००}{१६.१} = ५५\text{-}९ \text{ फूट.}$$

२७९. **कर्तृत्वशक्तीचें नित्यत्व**—गतिशास्त्रावरील ग्रंथांत असें दाखविलें आहे कीं, जेव्हां घर्षणाच्या स्वरूपाचे प्रतिबंध चलनास होत नसतात, तेव्हां अंतर्गत प्रेरणांशिवाय बाह्य प्रेरणांचें ज्यावर कार्य घडत नाहीं, अशा पदार्थसमूहाची एकंदर कर्तृत्व• शक्ति नित्य समान असते; ह्मणजे कर्तृत्वशक्ति अविनाशी किंवा नित्य आहे. ही कधीं स्थानविशिष्ट किंवा गुप्तरूपांत जास्त असेल किंवा कधीं गतिरूपांत किंवा व्यक्तरूपांत जास्त असेल; परंतु दोहीं रूपांतील कर्तृत्वशक्तींची बेरीज नेहमीं समान असते.

उदाहरण (१)—उतरणीच्या शिखरावर एक दगड असला, तर त्याच्या अंगीं स्थानविशिष्ट किंवा गुप्त कर्तृत्वशक्ति आहे. उतरणीच्या पायाजवळच्या सपाट जमिनीच्या संबंधानेंही प आहे असें समजूं. घर्षणाशिवाय तो दगड खालीं उतरला असें कल्पिल्यास तळाशीं तो आल्यावर त्याच्या अंगीं कांहीं वेग येईल; आणि या वेगामुळें त्याच्या अंगीं कांहीं व्यक्त किंवा गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति असेल. ती क आहे असें घेऊं. जर प आणि क या दोहोंस फुटपौंडांत मापिलें, तर असें दाखवितां येईल कीं, प = क.

उतरणीवरून खालीं आल्यावर विवक्षित स्थळीं दगडाच्या अंगीं $\text{प}_१$ गुप्त शक्ति राहिली आणि खालीं उतरल्यामुळें $\text{क}_१$ व्यक्तशक्ति त्याच्या अंगीं आली. तर त्या ठिकाणीं दगडाची एकंदर कर्तृत्वशक्ति $\text{प}_१+\text{क}_१$ असेल; तसेंच दुसऱ्या स्थळीं एकंदर कर्तृत्वशक्ति $\text{प}_२+\text{क}_२$ असेल.

तर यंत्रशास्त्रानें असें सिद्धकरितां येतें कीं,

$$\text{प} = \text{प}_१+\text{क}_१ = \text{प}_२+\text{क}_२ = \text{क}.$$

कोणत्याही स्थानापासून घर्षणरहित अशा दुसऱ्या एका उतरणीवर एका दगडास चढूं दिलें तर तो दगड मूळच्या उंचीइतका बरोबर चढूं शकेल. तीर वर मारिला तर त्याचीही स्थिति अशीच असते.

उदाहरण (२)—मध्यभागीं असलेल्या सूर्यासभोंवतीं एक ग्रहमाला फिरत आहे, अशी कल्पना करा. या सूर्यग्रहाच्या मंडळांत सर्व निरनिराळे पिंड चलन पावत आहेत, म्हणून या मंडळांत जी एकंदर व्यक्त किंवा गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति आहे ती

क असें घेऊं. तसेंच ज्यापेक्षां सर्व तारे सूर्याकडे आकर्षिले जातात, व ते सूर्यापासून कांहीं नियत अंतरावर राहिले आहेत; त्यापेक्षां ते सूर्याजवळ जातांना काम करूं शकतात; यास्तव या मंडळांत कांहीं गुप्त किंवा स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति आहे व ती प आहे असें घेऊं. आतां गतिशास्त्रावरून आपणास माहीत आहे कीं, व्यक्त व गुप्त कर्तृत्व शक्ति यांची बेरीज नित्य समान असते. म्हणून जर सूर्याजवळ तारे गेल्यानें गुप्तकर्तृत्व शक्ति कमी झाली तर आपणास असें आढळेल कीं, ज्या वेगानें तारे सूर्याभोंवतीं फिरत आहेत, तो वेग वाढेल. म्हणून मंडलाची व्यक्तकर्तृत्वशक्ति तितकी वाढेल; आणि दोहों कर्तृत्वशक्तींची बेरीज समान राहील; उलट जेव्हां तारे सूर्यापासून दूर जातील, तेव्हां त्या मंडलाची गुप्त कर्तृत्वशक्ति वाढेल, आणि त्यांचा वेग आणि म्हणून त्यांची व्यक्त कर्तृत्वशक्ति कमी होईल. (या ठिकाणीं आम्ही कक्षांच्या दीर्घ वर्तुळाकार आकारास उद्देशून लिहिलें आहे.)

२८०. जेथें घर्षण घडतें तेथें कर्तृत्वशक्तीच्या नित्यत्वाचा नियम लागू नसतो असें बाह्यात्कारें वाटतें—पुष्कळ दिवसपर्यंत असें समजत कीं, जेव्हां घर्षण नसतें तेव्हां मात्र कर्तृत्वशक्तीच्या नित्यत्वाचा नियम खरा असतो. कारण जेव्हां घर्षणाचा प्रतिबंध होतो, तेव्हां जितकी व्यक्त कर्तृत्वशक्ति नष्ट होते, तितकी ती गुप्त रूपानें आपणास प्राप्त होत नाहीं, आणि गुप्त कर्तृत्वशक्ति नष्ट झाली तर व्यक्त रूपानें मिळत नाहीं. जसें—जर एक दगड उतरणीवरून खालीं सोडिला, तर माथ्यावर जी त्याच्या अंगीं गुप्तकर्तृत्वशक्ति होती, तिच्या जागीं तळाशीं तितकी व्यक्त शक्ति येते. आणि तो दगड उतरणीवरून वर जाऊं दिला, तर घर्षणाच्या अभावीं मात्र पूर्वीच्या उंचीस जातो. परंतु घर्षण असल्यास तो तितक्या उंचीवर पोंचत नाहीं, किंवा त्याच्या कर्तृत्वशक्तींत अनेक फेरफार होऊन कर्तृत्वशक्ति कमी झाली आहे, आणि बाह्यात्कारें त्याच्या मोबदला दाखविण्यास कांहींच नाहीं, अशा स्थितींत तो परत मूळ स्थितींत येतो.

२८१. जेथें घर्षण घडतें तेथें उत्पन्न झालेली उष्णता कर्तृत्वशक्ति आहे असे समजल्यास वरील नियम खरा असतो—ज्यांत घर्षण घडतें, व ज्यांत घर्षण घडत नाहीं, अशा दोन्हीं गोष्टींचा ‘कर्तृत्वशक्ति नित्य समान असते’ या सिद्धांतांत समावेश होतो, असें जेव्हां दाखविण्यांत आलें तेव्हां अर्वाचीन शास्त्रज्ञांच्या अनेक साधारण अनुमानांपैकीं एक मोठें अनुमान काढण्यांत आलें.

हें सर्वांस माहीत आहे कीं, जेव्हां घर्षण घडतें तेव्हां उष्णता उत्पन्न होते. पदार्थास फार उष्ण करणें म्हणजे त्याच्या कणांस जास्त जोरानें आंदोलन पावण्यास लावणें होय. कण आंदोलन पावणें हा एक द्रव्याच्या चलनाचाच प्रकार आहे. मात्र या स्थळीं गति इतकी संकीर्ण असते, आणि ज्या अंतरांतून चलन होतें, तीं अंतरें इतकीं सूक्ष्म असतात कीं, तीं आपल्या नजरेस येत नाहींत. परंतु जेथें म्हणून द्रव्य चलन पावतें तेथें गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति असते, हें निर्विवाद आहे.

सारांश उष्णतेला गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति असें मानितां येईल; आणि ज्याप्रमाणें

आपण दृश्य व व्यक्त कर्तृत्वशक्तीस फुटपौंडांनीं मापितों, त्याप्रमाणें फुटपौंडांनीं उष्णता मापण्यास जोल यानें कशी योजना केली होती, त्याचें वर्णन पुढें करूं.

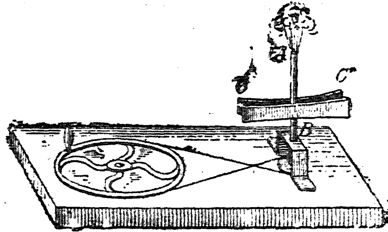
ज्या ठिकाणीं कांहीं काम होऊन व्यक्त कर्तृत्वशक्ति नष्ट होते, त्या ठिकाणीं तिच्या मोबदला तितकीच कर्तृत्वशक्ति उष्णतेच्या रूपानें प्राप्त होते, अशीं कांहीं उदाहरणें प्रथमतः देऊं.

प्रयोग (१)—वायूची पिचकारी—बाजूवरील आकृति जाड अशा कांचेच्या पिचकारीची आहे. तिचें E तोंड E ह्या पितळेच्या तुकड्यानें अगदीं गच्च बंद केलेलें आहे. E तुकडा मळसूत्रानें गच्च बसवितां येतो. या पत्र्याच्या बाहेरच्या बाजूस एक लहानशी पोंकळी आहे. तींत कफाचा किंवा दुसऱ्या शीघ्र ज्वालाग्राही पदार्थाचा तुकडा घालितां येतो. नळींत गच्च बसणाऱ्या P Q दट्ट्याचा दांडा बळकट असून त्याचा Q दट्ट्या लांब नळींत गच्च बसणारा आहे. प्रथमतः P Q दट्ट्या नळीच्या माथ्याशीं आणून, नंतर E पत्र्यांत कफ घालून नळीच्या तोंडावर त्यास बसवावें. आणि अखेर P Q दट्ट्या जोरानें व जलदीनें खालीं सारावा, ह्मणजे कफ पेटतो, आणि जी ठिणगी उत्पन्न होते, ती अंधेरांत स्पष्ट दिसते. ह्या ठिकाणीं आपण कामाचा व्यय करितों, आणि त्याच्या मोबदला उष्णतेच्या रूपानें कर्तृत्वशक्ति मिळते.

आ. १३४ वी.

प्रयोग (२)—जेव्हां आगगाडी ब्रेकानें (प्रतिबंधकानें) थांबवितात, तेव्हां यंत्र चालविणारा (एंजिनड्रायव्हर) किंवा पाहरेकरी (गार्ड) हा जो प्रयोग करितो त्यांत चल गाडीची व्यक्त कर्तृत्वशक्ति नष्ट पावून तिच्या मोबदला तितकीच उष्णतेच्या रूपानें व्यक्तशक्ति मिळते. प्रत्येक ब्रेकापासून ज्या पुष्कळ ठिणग्या उडतात, त्या रात्रीं स्पष्ट दिसतात.

अंधेर असलेल्या खोलींत एक मोठें चाक (फ्लायव्हील) खूप जलदीनें गरगरां



आकृति १३६ वी.

फिरवून व त्यास प्रतिबंधकानें (ब्रेकानें) थांबवून अशा ठिणग्या दाखवितां येतात.

प्रयोग (३)—टिंडाल ह्यानें पुढील प्रयोग योजिला होता. A B ही एक बुडाशीं बंद अशी नळी असून तिच्या तोंडावर बूच गच्च बसतें. (आ. १३५ पहा) ही नळी गरगरां

गति देण्याच्या यंत्राच्या उभ्या खुंटीवर स्क्रूनें बसवून घर्षण फार न होतां तिला गरगरां फिरवितां येतें. ह्मणून तिला जलद वाटोळी गति देण्यांत फार काम खर्च होणार नाहीं.

बिजागिरीनें दोन लांकडी तुकडे जोडून केलेल्या C C′ कैचींत नळी धरून फिरवूं लागलें, म्हणजे नळी फिरण्यास फार जड जातें. कारण येथें नळीचे तुकड्यांवर घर्षण घडतें. या रीतीनें नळी फिरविण्यास कांहीं काम खर्च करावें लागतें; आणि तेणेंकरून त्याचें रूपांतर उष्णता या व्यक्त कर्तृत्वशक्तींत होतें. कारण पाणी कढूं लागतें, यावरून ही गोष्ट स्पष्ट होते.

प्रयोग (४)—शिशाच्या कांबीचा तुकडा जोरानें व जलदीनें उलटा सुलटा वांकविला तर आपणास बरेच श्रम करावे लागतात, आणि त्यापासून शिसें गरम होतें.

तसेंच ऐरणीवर धातूचा तुकडा ठेवून घणानें त्यावर ठोकिलें, तर चलरूपाची व्यक्त कर्तृत्वशक्ति प्रत्येक ठोक्याबरोबर नष्ट होते, आणि धातूचा तुकडा उष्ण होतो.

२८२. उष्णतेचा यांत्रिक सममूल्यक— उष्णता केवळ एक प्रकारची कर्तृत्वशक्ति आहे, हें स्पष्ट केलें; आणि जेथें व्यक्त कर्तृत्वशक्ति नष्ट होते, किंवा काम झाल्यावर व्यक्त कर्तृत्वशक्ति दृश्य होत नाहीं तेथें नेहमीं उष्णता उत्पन्न होते, असें कित्येक उदाहरणें देऊन दाखविलें. फुटपौंडांनीं मापिलेलें काम, यांत्रिक कर्तृत्वशक्ति आणि उष्णतामापकानें मापिलेलें उष्णतेचें परिमाण या दोहोंमध्यें काय संबंध आहे, हें काढण्याकरितां जोल, मेयर, आणि दुसरे विद्वान यांनीं जे प्रयोग केले, त्यांचें आतां वर्णन करूं.

जोल यानें असें स्थापित केलें कीं, एक पौंड पाण्याचें ०°श. उष्णमान वाढविण्यास जी उष्णता लागते, ती १३९० फुटपौंड कामाबरोबर असते.

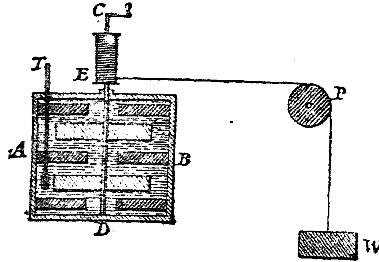
ह्मणजे हा वरील उष्णतेचा अंश कर्तृत्वशक्ति आहे असें मानिलें, तर त्याची किंमत १३९० फुटपौंड आहे; याचा अर्थ असा कीं, १ पौंड वजन १३९० फुट अंतरांतून खालीं पडूं दिलें आणि त्यापासून कांहीं यांत्रिक काम झालें नसून फक्त उष्णता मात्र उत्पन्न झाली, तर जी उष्णता उत्पन्न होईल तिनें एक पौंड पाण्याचें १°श उष्णमान चढेल.

टीप—१°श च्या जागीं १° फा. उष्णमान घेतलें तर यांत्रिकतुल्यमूलकाची किंमत ७७२ फुटपौंड असते.

२८३. प्रयोग— जोल याची रीति· जोल यानें याविषयीं जे प्रयोग केले, त्यांत एक विवक्षित वजन विवक्षित उंचीवरून खालीं पडूं दिलें, आणि तें वजन पडत असतां त्याच्या योगानें चपट्या खुंट्या बसविलेल्या एका दांड्यास पाण्यांत फिरूं दिलें. या खुंट्या पाण्यास ढवळीत, आणि चलन पावलेल्या पाण्याच्या सर्व व्यक्त कर्तृत्वशक्तीचें रूपांतर उष्णतेंत अखेरीस होत असे; कारण भांड्याच्या बाजूंवर घर्षण घडून अखेर पाणी स्थिर होत असे.

A B ही एक पाण्यानें भरलेली बंद पेटी आहे, व तींत T हें उष्णमापक आहे. यानें पाण्याचें उष्णमान समजतें. C E D हा एक फिरता आंस असून त्यास

चपट्या खुंट्या आहेत, व आंस फिरला म्हणजे त्यावरील खुंट्या पाण्यास ढवळतात. आंसाच्या वरचा C E भाग हवा तेव्हां वेगळा करितां येतो. C E भागा भोंवतीं एक दोरी गुंडाळलेली आहे, व ती P या कप्पीवरून जाऊन W या वजनास अड-



आकृति १३६ वी.

कविलेली आहे. आतां W वजन उ उंचींतून खालीं पडत असतां जी त्याची गुप्त स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति अदृश्य होते, त्या सर्व गुप्तशक्तीचा उपयोग पाणी ढवळण्यांत होत नाहीं. कांहीं भाग वजन, कप्पी आणि C E आंस यांस व्यक्त किंवा गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति देण्यांत खर्च होतो, आणि कांहीं थोडा भाग कप्पीस उष्ण करण्यांतही जातो. परंतु खुंट्या असलेल्या आंसापासून C E भाग वेगळा काढून असें काम किती व्यर्थ जातें याचा अंदाज करून, केवळ पाण्यांतच किती फुटपौंड काम खर्च होतें, हें जोल यानें काढिलें. आतां पेटींत जी रचना आहे, तिजवरून पाण्याची आणि खुंट्यांची सर्व व्यक्त कर्तृत्वशक्ति उष्णतेंत रूपांतर पावते, हें उघड आहे. पाणी पेटींत किती आहे व त्याचें उष्णमान वाढविण्यास किती उष्णता लागते, हें माहीत असतें; आणि पाण्याचें उष्णमान किती वाढतें, हेंही उष्णमापकावरून समजतें. म्हणून अमुक फुटपौंड काम खर्च झालें तेव्हां अमुक अंश पाण्याचें उष्णमान चढलें हें समजतें. हीं दोन परिमाणें परस्पर बरोबर असलीं पाहिजेत. असे अनेक प्रयोग करून वर दिलेलें प्रमाण जोल यानें काढिलेलें आहे. सर उइल्यम टॅामसन, हर्न व दुसरे कित्येक विद्वान यांनींही यापासून अगदीं भिन्न अशा रीतींनीं अनेक प्रयोग केले. त्यांच्या व जोल याच्या प्रयोगांपासून निघालेल्या अनुमानांत फार साम्य पडलें, आणि त्या दोहोंवरून वरील सिद्धांत स्थापित झाला. याहून महत्वाची गोष्ट ही कीं, उष्णता ही एक प्रकारची कर्तृत्वशक्ति आहे; म्हणून तिला यांत्रिक कामाच्या मापानें मापितां येईल, ही जी केवळ कल्पना होती तिजविषयीं संशय राहिला नाहीं.

टीप—जर गुरुत्वाकर्षक शक्तीचा जोर पूर्वींप्रमाणें ३२·२ फूट आहे, असें समजलों तर कामाच्या स्वतंत्रप्रमाणाच्या ३२·२ पट फुटपौंड हें कामाचें प्रमाण आहे. म्हणून जर आपण कामाच्या स्वतंत्रप्रमाणाचा उपयोग केला, तर पौंड शतभाग उष्णतेचा अंश $=१३९०\times३२·२=४४,७५८$ कामाचीं स्वतंत्र प्रमाणें.

जर ज हें अक्षर १३९० ही संख्या दर्शविण्यास घेतलें आणि उष्णतेचे अंश दर्श-

िण्यास उ अक्षर घेतलें, आणि त्याच्या बरोबरीचें जें यांत्रिक काम त्याचे फुटपौंड दर्शविण्यास जर क अक्षर घेतलें, तर अशी सारणी निघते—

क = ज × उ.

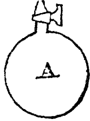
या सिद्धांतास गतिविशिष्ट उष्णताशास्त्राचा पहिला सिद्धांत असें ह्मणतात.

२८४. **यांत्रिक कर्तृत्वशक्तींत उष्णतेचें रूपांतर किंवा यांत्रिक काम करण्यांत उष्णतेचा व्यय—** यांत्रिक कर्तृत्वशक्तीचें उष्णतेंत रूपांतर कसें होतें, एवढेंच केवळ दाखवून उष्णता आणि यांत्रिक किंवा व्यक्त कर्तृत्वशक्ति यांमध्यें कसा संबंध असतो, याविषयीं स्पष्टीकरण वर केलें. ह्मणजे वर असें दाखविलें कीं, व्यक्त कर्तृत्वशक्ति कांहीं नियमित प्रमाणानें नष्ट झाली किंवा कांहीं नियमित काम खर्च झालें, तर त्यापासून नियमित अशी त्याप्रमाणानें उष्णता मिळते. कर्तृत्वशक्तीचें या प्रकारचें रूपांतर खरोखरच फार साधारण आहे. कारण सर्व कर्तृत्वशक्तींचा उष्णतेमध्यें रूपांतर पावण्याचा कलच असतो. तथापि उलट रूपांतराचीं ह्मणजे यांत्रिक कर्तृत्वशक्तींत उष्णतेच्या रूपांतराचीं उदाहरणें फार क्वचित् आढळतात, असें नाहीं. जी उष्णता नाहींशी होते, व तिच्या मोबदला जी यांत्रिक कर्तृत्वशक्ति प्राप्त होते, त्या दोहोंमध्येंही असाच संबंध असतो.

२८५. **उदाहरण १—**जर एकादें वाफेचें यंत्र कांहीं काम करीत नसेल, तर भट्टींतून जी उष्णता यंत्रानें शोषण केली असेल, ती सर्व उष्णता परत मिळेल. जर उष्ण झालेलें लोखंड मूळच्या उष्णमानावर येईपर्यंत शीत केलें, आणि वाफेस थिजवून जर मूळच्या उष्णमानाचें तिचें पाणी केलें, सारांश जी उष्णता हवा, लोखंड, किंवा पाणी यांत गेली होती, ती सर्व नीट रीतीनें गोळा केली तर भट्टींतून गेलेली सर्व उष्णता आपणास पुनः प्राप्त होईल. परंतु जेव्हां यंत्र काम करीत असेल, तेव्हां कितीही जपून भट्टींतून गेलेली उष्णता गोळा केली तथापि कांहीं अदृश्य झाली आहे, असें आपणास आढळेल. जर घर्षण मुळींच घडत नाहीं, असें घटकाभर आपण समजलों, तर अदृश्य झालेल्या उष्णतेच्या मोबदला तिच्या बरोबरीची व्यक्त कर्तृत्वशक्ति आपणास प्राप्त होईल. एका मोठ्या गतिचक्राला (फ्लायव्हील याला) किंवा आगगाडीला नियमित गति देण्यास जर यंत्राचा उपयोग केला असला, तर जी उष्णता नष्ट झाली असेल, तिच्या बरोबर ही व्यक्त कर्तृत्वशक्ति असते. जर वजनें उचलण्यास यंत्राचा उपयोग केला असला तर उंचस्थानीं वजनाच्या ओगीं आलेली कर्तृत्वशक्ति नष्ट झालेल्या उष्णतेच्या बरोबरीची असेल. जर फ्लायव्हील यास किंवा आगगाडीस ब्रेकानें ह्मणजे प्रतिबंधकानें थांबविलें, किंवा उंच ठिकाणीं नेलेल्या वजनास पूर्वीच्या सपाटीपर्यंत खालीं पडूं दिलें, तर यंत्रांतील जी उष्णता नाहींशी झाली होती, तितकी पुनः उत्पन्न होईल.

२८६. **उदाहरण २.—** A हें धातूचें भक्कम भांडें असून त्याच्या तोंडास कॉक बसविलेला आहे. यांत वातपूरक यंत्रानें हवा भरली आहे. ही हवा बाहेरील हवेपेक्षां दाट असेल व तिचा दाबही जास्त असेल.

हवा भरतांना काम खर्च झालें व त्यापासून उष्णता उत्पन्न झाली होती, परंतु तें भांडें तसेंच ठेविल्यामुळें त्याचें उष्णमान आतां हवेच्या उष्णमाना इतकें झालें आहे. (आ. १३६ पहा.)



आतां जर मळसूत्र फिरवून द्वार उघडलें तर हवा जोरानें बाहेर पडेल. ही हवा प्रसरण पावतांना व सभोंवतालच्या हवेस मागें लोटतांना व बाहेर पडणाऱ्या हवेच्या कणांस गति देतांना काम करिते,

आ. १३७ वी.

म्हणून थंड होते. आतां सर्व फाजील हवा बाहेर निघून गेली म्हणजे भांडें मूळच्या स्थितींत येतें. परंतु जर वायु आकुंचित होऊन उष्ण झाला होता, तसाच आकुंचित व उष्ण राहिला असता, तर बाहेर पडतांच तो प्रसरण पावला असता; व प्रसरण पावतांना शीत झाला असता; आणि त्यास कर्तृत्वशक्तीच्या नित्यत्वाच्या सिद्धांताप्रमाणें मूळचा आकार व मूळचें उष्णमान प्राप्त झालें असतें. परंतु आकुंचित झालेल्या वायूस आपण शीत होऊं दिलें होतें, व त्याचें उष्णमान हवेच्या उष्णमानाइतकें झालें होतें. याकरितां आतां आकुंचित वायु बाहेर पडून प्रसरण पावतो; तेव्हां त्याचें उष्णमान हवेच्या उष्णमानाहून कमी होतें; व उष्णता अदृश्य होते; व त्याच्या मोबदला यांत्रिक काम होतें.

टीप—हें लक्षांत ठेविलें पाहिजे कीं, प्रसरण पावतांना काम झालें म्हणून उष्णता खर्च झाली पाहिजे, किंवा काम झालें म्हणून वायु शीत झालाच पाहिजे, असें मात्र हटकून आपणास म्हणतां येणार नाहीं. कारण वायु हा घड्याळाच्या कमानीसारखा आहे असें समजतां येईल. वायूस आकुंचित करितांना आपण काम करितों, व त्याच्या मोबदला गुप्त किंवा स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति मिळते. वायु परत मूळचा आकार धारण करितो तेव्हां काम होतें, आणि स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति नष्ट होते. (प्रकरण ७ यांत आपण पाहिलें कीं, कमानीसारखा वायूचा दाब उत्पन्न होत नाहीं.) वास्तविक गोष्ट अशी दिसते कीं, वायूच्या साधारण धर्मावरून त्यास आकुंचित केलें म्हणजे उष्णता उत्पन्न झाली पाहिजे. बरें, हाच वायु जर पुनः प्रसरण पावला, तर तितकी उष्णता पुनः खर्च झाली पाहिजे. परंतु जर आकुंचन पावल्यामुळें उत्पन्न झालेल्या उष्णतेस आपण वायूमधून घालविलें, तर त्यानें प्रसरण पावतांना दुसरी उष्णता शोषण केली पाहिजे. आणि याकरितां शीत केलेला आकुंचित वायु प्रसरण पावतो तेव्हां त्याचें उष्णमान उतरतें.

२८७. उदाहरण (३)—A भांडें आकुंचित केलेल्या हवेनें भरलें आहे व तिचें हवेच्या इतकें उ° श उष्णमान आहे. B हें दुसरें तेवढेंच भांडें हवा काढून रिक्त केलेलें आहे. या दोहोंस C D नळीनें जोडलें आहे. म्हणून दोन्ही मिळून एकच पात्र समजण्यास हरकत नाहीं. आतां जर A मधील हवेस प्रसरण पावूं देऊन B मध्यें



आकृति १३८ वी.

जाऊं दिलें, तर या दोहों भांड्यांच्या बाहेर एकंदरींत कांहीं काम होणार नाहीं. परंतु B मध्यें हवेस घालविण्याचें काम A मधील हवा करील; म्हणून A भांडें शीत होईल. A मधील हवेनें केलेलें काम B वर खर्च होतें, व तेथें उष्णता उत्पन्न होते. प्रत्यक्ष प्रयोगावरून असें निष्पन्न होतें कीं, A मधून जितकी उष्णता कमी होते, तितकी B मध्यें नवी येते. दोन्ही भांडीं विवक्षित वजनाच्या व विवक्षित उष्णमानाच्या पाण्यांत ठेवून या उष्णतांचीं परिमाणें मापितां येतात.

टीप--C D नळी ही पाण्यांत असली पाहिजे. परंतु दिसण्यास आकृति साधी दिसावी, म्हणून आम्ही तशी दिली नाहीं.

२८८. कायम आकार व कायम दाब असतां वायूंच्या अनुक्रमें विशिष्ट उष्णता.— प्रकरण २१ कलम २११ यांत आपणास समजलें कीं, सर्व वायूंस दोन विशिष्ट उष्णता असतात व त्या व्यवहारोपयोगी आहेत. कायम आकारमान असतें तेव्हां वायूची विशिष्ट उष्णता कमी असते. ती ㄗ या मोडी अक्षरानें दर्शवूं, आणि जेव्हां वायूवरील दाब कायम असून तो प्रसरण पावतो, तेव्हां त्याची विशिष्ट उष्णता जास्त असते; व ती क या बालबोध अक्षरानें दर्शवूं. वर सांगितलें आहे कीं, पूर्णपणें ज्यास वायुरूप असतें, म्हणजे ज्याचें वायुरूप साधारण उष्णमान व साधारण दाब असतां कायम राहतें अशा प्रत्येक वायूच्या दोहों विशिष्ट उष्णतांमधील प्रमाण खालीं लिहिल्याप्रमाणें असतें.

$$\frac{\text{क}}{\text{ㄗ}} = \frac{१.४१४}{१}.$$

ㄗ पेक्षां क मोठा असण्याचें कारण असें असतें कीं, कायम दाब असतां वायु प्रसरण पावतो. आणि प्रसरण पावतांना त्यावरील दाब उचलतांना त्यास काम करावें लागतें.

वायूविषयीं जी कल्पना सर्वांस मान्य झाली आहे, व ज्या प्रयोगांनीं तिचें पुष्टीकरण झालें आहे अशा अनेक प्रयोगांवरून असें अनुमान निघालें आहे कीं नित्य वायुरूपांत असणाऱ्या कोणत्याही वायूस आपल्या अणूंस परस्परांपासून दूर लोटून प्रसरण पावतांना कांहीं काम करावें लागत नाहीं. याकरितां प्रसरण पावण्यांत जी उष्णता खर्च होते, ती उष्णता बाह्यदाबाचें अतिक्रमण करून आकारमान वाढण्यांत जें काम होतें त्या कामाबरोबर असते.

आतां वायु प्रसरण पावण्यांत किती उष्णता अदृश्य झाली, हें आपणास काढितां येईल. कारण आपणास क आणि ㄗ ह्या संख्या माहीत असल्या म्हणजे क—ㄗ हीही समजेल. म्हणून विवक्षित वजनाच्या वायूचें प्रसरण होतांना किती उष्णता अदृश्य झाली हें काढितां येईल.

तसेंच वायूचें आरंभींचें व अखेरचें अशीं आकारमानें व दाब आपणास माहीत असतात. म्हणून बाह्य जें काम झालें तेंही काढतां येईल.

यास्तव वायूच्या अणूंस एकमेकांपासून दूर करण्यांत कांहीं उष्णता खर्च होत नाहीं असें गृहीत घेतलें तर आपणास खालील समीकरण लिहितां येईल.

अदृश्य झालेली उष्णता = झालेलें बाह्य काम.

या प्रकारचें गणित केलें ह्मणजे अदृश्य उष्णतेच्या बरोबर किती यांत्रिक काम असतें हें निघतें. हें प्रमाण जोल यानें कलम २८३ यांत सांगितल्याप्रमाणें काढिलेल्या प्रमाणांशीं बरोबर मिळतें.

२८९. उष्णता विशिष्ट गतिशास्त्राचा दुसरा सिद्धांत—कलम २८३ याच्या अखेरीस असें सांगितलें कीं, विवक्षित परिमाणाच्या उष्णतेबरोबर विवक्षित परिमाणाचें यांत्रिक काम असतें; आणि कोणत्या तरी रूपांत तिच्या बरोबरीची कर्तृत्वशक्ति दृश्य झाल्याशिवाय उष्णता अदृश्य होणार नाहीं. यासच उष्णताविशिष्टशास्त्राचा पहिला सिद्धांत ह्मणतात.

दुसरा सिद्धांत याहून फार साधा आहे. उष्णतेचें रूपांतर यांत्रिक कामांत कसें होतें हें या सिद्धांतांत सांगितलेलें असतें. या सिद्धांताविषयीं थोडेंसें वर्णन पुढें पुरवणींत देण्यांत येईल.

२९०. उष्णतेनें चालणाऱ्या उष्णतायंत्रांचीं साधारण मूलतत्त्वें— ज्या यंत्रांत यांत्रिक काम किंवा कर्तृत्वशक्ति मिळण्याकरितां उष्णतेचा उपयोग करितात, अशा वाफेच्या यंत्रांस, उष्ण हवेच्या यंत्रांस व दुसऱ्या असल्या उष्णतेनें चालणाऱ्या यंत्रांस **उष्णता यंत्रें** हें नांव देतात.

थोडासा विचार केला असतां असें दिसून येईल कीं, या सर्व यंत्रांत कांहीं विवक्षित अशा क उष्णमानावर उष्णतेचें उत्पत्तिस्थान असावें लागतें आणि ज्यास शीतक असें म्हणतात, असा एक किंवा अधिक पदार्थ याहून कमी अशा $क_0$ उष्णमानावर असणें अवश्य असतें. आणि क उष्णमानावरील उत्पत्ति स्थानापासून $क_0$ उष्णमानावर असलेल्या शीतकाकडे उष्णता जाणें, हें यंत्र चालूं लागण्यास अवश्यक असतें. परंतु यंत्र चालू होण्यास उत्पत्तिस्थानापासून निघालेल्या क उष्णमानाची उष्णता शीतकाच्या $क_0$ उष्णमानावर गेली पाहिजे. येथें आपण केवळ उष्णमानाचा उपयोग करूं. एक उदाहरण देतों, त्यावरून हें स्पष्ट होईल. वाफेच्या यंत्राच्या तापकांत १६०°श. किंवा ४३३°क या उंच उष्णमानावर वाफ आहे, असें कल्पूं. हें आपलें उष्णतेचें उत्पत्तिस्थान ४३३°क. उष्णमानावर आहे. यास जोडलेला एक शीतक आहे, व त्यांत वाफ जाऊन व तेथें थिजून तिचें पाणी उदाहरणार्थ ३०°श. किंवा ३०३°क उष्णमानाचें होतें. हा आपला शीतक $क_0$ = ३०३° क या उष्णमानावर आहे. असें यंत्र चालू होण्यास ४३३° क उष्णमानावरील तापकांतून ३०३°क उष्णमानावरच्या शीतकांत उष्णता जाणें अवश्य आहे.

आणखी आपणास असें माहीत आहे कीं, यंत्रानें जर कांहीं काम होत असलें, तर यांपैकीं कांहीं उष्णता खर्च झाली पाहिजे; म्हणून तापकांतून जी उष्णता एकंदर जाते, ती सर्व शीतकांत जाऊन पोंचत नाहीं.

२९१. **उष्णता यंत्राचें खरें सामर्थ्य**—जी उष्णता तापकांतून जाते, त्यापैकीं साधेल तितकी पुष्कळ उष्णता काम करण्यांत खर्च करणें यांतच आपला स्वार्थ आहे, हें स्पष्ट होय. १६०° श. उष्णमानावर वाफ करण्यामध्यें सर्पण खर्च करून तिला हवेंत आपल्या सर्व उष्णतेसह जाऊं देणें ह्मणजे केवळ नुकसान आहे. उच्च दाबाच्या यंत्रांत याप्रमाणें वाफ हवेंत सोडितात. तसेंच नीच दाबाच्या यंत्राच्या शीतकांत फार उष्ण अशा स्थितींत वाफेस जाऊं देणें, आणि या वाफेंतील उष्णता जिकडे तिकडे पसरून व्यर्थ घालविण्याकरितां शीतकास थंड ठेवणें, यांतही नुकसान आहे.

तापकांतून एकदां वाफ सोडिली म्हणजे तिच्या उष्णतेपैकीं इतक्या उष्णतेचा आपणास काम करून घेण्यांत व्यय करितां यावा कीं, ती वाफ यंत्रांतून बाहेर पडतांना हवेच्या उष्णमानाच्या पाण्यांत तिचें रूपांतर व्हावें. असें झालें तर मात्र आपला फायदा होईल. उत्पत्तिस्थानापासून जी उष्णता जाते, तिजपैकीं किती उष्णतेचा काम करून घेण्यामध्यें खर्च करितां येईल त्याचा आपण विचार करूं.

असें समजूं कीं, उत्पत्तिस्थानापासून जी उष्णता जाते, ती उ आहे आणि तिजपैकीं जिचा व्यय काम करण्यांत होतो, ती $उ'$ आहे. उत्पत्तिस्थानाचें उष्णमान क आणि शीतकाचें उष्णमान $क_0$ आहे. हीं उष्णमानें केवळउष्णमानें आहेत असें कल्पूं.

तर $\frac{उ'}{उ}$ या अपूर्णांकास यंत्राचें सामर्थ्य असें ह्मणतात व हें म्हणणें सयुक्तिक आहे. कारण उत्पत्तिस्थानापासून शीतकांत जी उं एकंदर उष्णता जाते, व ज्या उष्णतेचा व्यय काम करण्यांत होतो, त्या दोहोंमधील हें प्रमाण आहे.

ज्या सिद्धांताचा या प्रस्तुतच्या पुस्तकांत समावेश होत नाहीं, त्या सिद्धांतावरून असें सिद्ध करतां येतें कीं, $\frac{उ'}{उ}$ याची अत्यंत मोठी किंमत (म्हणजे अगदीं पूर्णतेस पावलेल्या यंत्रांत जी याची किंमत असेल ती) खालीं लिहिल्याप्रमाणें असतेः—

$$\frac{उ'}{उ}=\frac{क-क_0}{क}$$

म्हणून असें दिसतें कीं आपणास सर्व उष्णतेचा उपयोग करून घेतां येणार नाहीं. जर शीतकाचें उष्णमान $क_0$ हें शून्य असेल ह्मणजे जर शीतक केवळ शून्य उष्णमानावर असेल, तर मात्र $उ'$ बरोबर उ होईल. आणि तेव्हां मात्र सर्व उष्णतेचा उपयोग करून घेतां येईल. परंतु अशी गोष्ट व्यवहारांत अगदीं अशक्य आहे.

२९२. **उत्तम उष्णतायंत्र**—उत्तम उष्णतायंत्र कशास म्हणावें हें या पुस्तकांत सांगतां येणार नाहीं. इतकेंच येथें सांगणें बस आहे कीं, जर उत्तम यंत्राचें सामर्थ्य दर्शविणारा अपूर्णांक $\frac{उ'}{उ}$ याची किंमत काढिली ह्मणजे हें सामर्थ्य कोणत्याहि यंत्राच्या आंगीं असणार नाहीं, असें आपणास एकदम समजेल. व्यवहारदृष्ट्या उत्तम यंत्राचें जें अत्यंत मोठें सामर्थ्य तें $\frac{क-क_0}{क}$ या बरोबर असतें.

२९३. **यंत्राच्या सामर्थ्याचीं उदाहरणें**—उत्तम अशा कल्पिलेल्या वाफेच्या यंत्रांत तापक १३०° श उष्णमानावर आहे; आणि शीतकास २५° श या उष्णमानावर ठेविलें

आहे. तर त्याचें सामर्थ्य काय असेल? आणि तापकांतून ४० पौंड शतभाग अंश उष्णता गेल्यास तिजपासून किती काम करून घेतां येईल ?

१३०°श. = ४०३°क; आणि २५°श. = २९८° क.

$$\therefore (१) \text{ यंत्राचें सामर्थ्य} = \frac{उ'}{उ} = \frac{क - क_०}{क} = \frac{४०३-२९८}{४०३} = \frac{१०५}{४०३}$$

$$\text{यास्तव—} उ' = \frac{१०५}{४०३} \; उ$$

$$उ = ४० \times १३९० \text{ फुटपौंड.}$$

$$\therefore \text{ काम होईल तें } = \frac{१०५ \times ४० \times १३९०}{४०३} \text{ फुटपौंड.}$$

उष्णतेचीं अनेक उत्पत्तिस्थानें.

२९४. **सूर्य**—कोणकोणत्या भिन्न रीतींनीं आपणास उष्णता प्राप्त होते, याविषयीं आपण विचार करूं लागलों ह्मणजे सूर्य हें उष्णतेचें मुख्य उत्पत्तिस्थान आहे, असें आपल्या एकदम लक्षांत येतें. क. २७२ यांत आपणास समजलें कीं, जी उष्णता आपणास सूर्यापासून मिळते, ती अतिशय असते. भूगोलावर १०० फूट जाडीचा बर्फाचा थर आहे, असें कल्पिलें, आणि त्या थरांत किती पौंड बर्फ असेल, त्याचें गणित केलें, आणि त्या संख्येस ८० नीं गुणिलें, तर ती संख्या, सूर्यापासून जी उष्णता दरसाल आपणास प्राप्त होते त्या उष्णतेचे अंश, पौंड शतभाग प्रमाणांत दर्शवील. आणखी जर या संख्येस १३९० नीं गुणिलें तर या उष्णतेबरोबर फुटपौंड प्रमाणांत कामाची संख्या निघेल.

सूर्यापासून जी उष्णता विसर्जित होते, त्यापैकीं तिचा $\frac{१}{२,१०,००,००,०००}$ वा भाग मात्र पृथ्वीस प्राप्त होतो. यावरून सूर्याची एकंदर कर्तृत्वशक्ति किती आहे, याचा विचार करूं लागल्यास ती शक्ति ज्या संख्येनें दर्शविली जाईल, ती संख्या एवढी मोठी असेल कीं, तिची वास्तविक कल्पना आपणास मुळींच होणार नाहीं.

२९५. **सूर्याचें उष्णमान कशानें तसेंच सतत कायम राहतें**—ज्या अति प्राचीन काळाविषयीं आपणास थोडी बहुत माहिती आहे, तेव्हांपासून सूर्याचें उष्णमान यत्किंचितही कमी झालें नाहीं; परंतु विसर्जनानें इतकी अत्यंत उष्णता सूर्यापासून जाते कीं, जर सूर्यास एकसारखा किंवा नियमित कालानें उष्णतेचा पुरवठा झाला नसता, तर सूर्याचें उष्णमान कमी झाल्याचें स्पष्ट अनुभवास आलें असतें. यास्तव असा प्रश्न उत्पन्न होतो कीं, सूर्यास उष्णतेचा पुरवठा कशानें होतो ? आपणास माहीत आहे कीं, ज्वलनानें किंवा दुसऱ्या कोणत्या तरी रसायन क्रियेनें उष्णतेचा पुरवठा करितां येतो.. यांत रासायनिक स्थितिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति अदृश्य होऊन तिच्या मोबदला गतिविशिष्ट किंवा व्यक्त कर्तृत्वशक्ति उष्णतेच्या रूपानें उत्पन्न होते. परंतु

ही गोष्ट सूर्याशीं संभवत नाहीं. कारण ज्वालाग्राही पदार्थांचा असा नियमित पुरवठा होण्याचें तेथें शक्य दिसत नाहीं; आणि ज्वलनापासून उत्पन्न झालेल्या पदार्थांचा इतका संचय झाला असता कीं, त्यांच्या योगानें उष्णतेचा पुष्कळ अंश इकडे येण्यास प्रतिबंध झाला असता. ज्योतिषशास्त्रवेत्ते व पदार्थविज्ञानशास्त्रवेत्ते या उभयतांनीं असें अनुमान काढिलें आहे कीं, सूर्याचा आकार आकुंचित होत आहे, व त्यावर त्या सभोंवतीं फिरणारे कित्येक तारे आपटून, त्यांची गति नष्ट होत आहे व कित्येक तारे सूर्याच्या जवळ जात आहेत. याच दोनतीन कारणांनीं सूर्याचें उष्णमान आहे तसें राहिलें आहे. म्हणजे वर निर्दिष्ट केलेल्या क्रियांमध्यें जी यांत्रिक स्थानविशिष्ट किंवा गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति नष्ट होते, तिच्या मोबदला उष्णता उत्पन्न होते. असें आपणास माहीत आहे कीं, जसजसा तारा सूर्याजवळ अधिक जातो, त्याप्रमाणें तो सूर्याभोंवतीं अधिक जलदीनें फिरूं लागतो. यास्तव जे तारे सूर्याच्या अति संनिध जातील त्यांचा वेग अतिशय असेल आणि अत्यंत मोठ्या आकाराच्या पदार्थांच्या अत्यंत वेगानें फिरण्यापासून इतकी अतिशय उष्णता उत्पन्न होईल कीं, तिचा सूर्यास जो पुरवठा होईल, त्यानें सूर्याचें उष्णमान कायम राहिलें आहे, असें म्हणतां येईल. अवकाशांत कशाशीं तरी किंचित् घर्षण झाल्यामुळें लहान मोठे तारे हळू हळू पण खात्रीपूर्वक सूर्याच्या अधिकाधिक जवळ जात आहेत, यांत संशय नाहीं.

सारांश आपल्या ग्रहमालेचा मध्य जो सूर्य त्याच्या सभोंवतालचे तारे अधिकाधिक त्याच्या जवळ जवळ जात असल्यानें, आणि त्यामुळें त्यांच्या यांत्रिक कर्तृत्वशक्तीचा नाश होत असल्यानें आणि सूर्याचा आकार आकुंचित होत असल्यानें सूर्याची उष्णता कायम राहिली आहे.

ग्रहमालेंतील सर्व तारे सूर्याजवळ गेले म्हणजे त्याचा पिंड हळू हळू शीत होत जाईल. आणि कदाचित् तो थंड आणि अंधक होईल. ही सर्व ग्रहमाला ज्या दुसऱ्या एका दूर अंतरावरच्या ताऱ्या सभोंवतीं फिरत आहे असें मानतात, त्याच्या मध्याकडे जेव्हां ही सर्व मालाची माला अधिक जवळ जाईल, तेव्हां पुनः उष्णता उत्पन्न होईल. परंतु या सर्व गोष्टी फार कालांतराच्या आहेत, व त्यांपासून यावेिषयीं जे आपले प्रस्तुत विचार आहेत, त्यांत कांहीं फेरफार होण्याजोगा नाहीं.

२९६. **भरती**—भरती हेंही एक उष्णतेचें उत्पत्तिस्थान आहे. भरतीचें पाणी पृथ्वीच्या पृष्ठभागावरून सरपटत एका ठिकाणाहून दुसऱ्या ठिकाणीं जातें; यापासून खचित साक्षात् पण कोणाशी न कळत उष्णता उत्पन्न झाली पाहिजे. जीं यंत्रें घर्षणानें किंवा विद्युल्लतेच्या योगानें आपणास उष्णता व प्रकाश देतील, अशीं यंत्रें भरतीच्या योगानें चालवितां येतील. म्हणून भरतीपासून उष्णता परंपरा उत्पन्न झाली पाहिजे. आतां पृथ्वी आणि चंद्र यांमधील परस्पर आकर्षण आणि पृथ्वीचें आपल्या आंसावर फिरणें या दोहों कारणांनीं भरती येते. केवळ चंद्राच्या आकर्षणानेंच पाणी फुगून एके ठिकाणाहून दुसरे ठिकाणीं जातें, असें भरतीचें स्थूलमानानें वर्णन करितां येईल. वास्तविक पृथ्वी या पाण्यामधून फिरत आहे, यास्तव पृथ्वीच्या फिरण्यास चंद्रानें ला-

विलेला हा एक तिजवर प्रतिबंधक (ब्रेक) आहे असें होतें. या प्रतिबंधकानें पृथ्वीचा आंसाभोवतीं फिरण्याचा जो वेग आहे, तो कमी होतो. म्हणून व्यक्त किंवा गति विशिष्ट कर्तृत्वशक्तीचा नाश होऊन त्याच्या मोबदला उष्णता उत्पन्न होते.

टीप—या भरतीच्या विषयाचें वरील हें फार अपुरें वर्णन आहे. परंतु यास नाइलाज आहे. हें सर्वांस माहीत आहे कीं, दोन ठिकाणीं भरती येते. चंद्राच्या थेट खालच्या ठिकाणीं आणि गोलाच्या याच्या खालच्या दुसऱ्या बाजूस अशी दोन ठिकाणीं भरती येते. आणि आणखी भरतीच्या कार्यानें पृथ्वीची आंसाभोंवतालची गतीच मात्र कमी होते, असें नसून चंद्राच्या गतींत ही प्रतिकार्यानें फेरफार होतो. सूर्याच्या कार्यानेंही भरती येते. परंतु ती फार लहान असते. आणि वर जें सांगितलें आहे तें सर्व सूर्यापासून उत्पन्न होणाऱ्या भरतींसही लागू आहे.

भरतीमध्यें ग्रहमालेच्या एका भागांत यांत्रिक कर्तृत्वशक्तीचा नाश होऊन त्याच्या बरोबरीची आणखी उष्णता उत्पन्न होते.

२९७. **वारा**— वाऱ्यापासूनही उष्णता उत्पन्न होते. यांतही पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर घर्षण घडल्यामुळें साक्षात् किंवा वाऱ्यास यंत्रें चालविण्यास लाविलें असल्यास परंपरा आपणास उष्णता प्राप्त होते. तथापि वारा कशानें उत्पन्न होतो, याचा जर आपण विचार केला, तर आपल्या लक्षांत असें येईल कीं, मुख्यत्वें सूर्याच्या कार्यानेंच वारा उत्पन्न होतो. किंवा वारा उत्पन्न होण्यामध्यें जी सूर्याची उष्णता खर्च होते, तिच्या बरोबरीची तिच्यामुळें मुख्यत्वें उत्पन्न झालेली वाऱ्याची कर्तृत्वशक्ति असते; म्हणून या उत्पत्तिस्थानाचा सूर्यामध्येंच समावेश होतो.

२९८. **रसायनप्रीति**—असे पुष्कळ पदार्थ आहेत कीं, त्यांमध्यें परस्पर रसायनप्रीति असते, आणि त्यांच्या संयोगापासून उष्णता उत्पन्न होते.

(१) **दगडी कोळसे व दुसरे ज्वालाग्राही पदार्थ**—दगडी कोळसे व दुसरे ज्वालाग्राही पदार्थ यांची आक्सिजनाशीं रसायन प्रीति आहे. आक्सिजनाशीं त्यांचा संयोग बहुधा ज्वलनाच्याद्वारें होतो, आणि ज्वलन घडत असतां उष्णता उत्पन्न होते.

निरनिराळ्या पदार्थांचें परस्परांशीं जें रसायनाकर्षण असतें, तें केवळ स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्तीचें दर्शक आहे, असें आपणास म्हणतां येईल. जेव्हां ही स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति त्यांच्या संयोगानें नाश पावते, तेव्हां तिच्या बरोबरीची उष्णता उत्पन्न होते.

आतां दगडी कोळसे व दुसऱ्या प्रकारचे ज्वालाग्राही पदार्थ यांची उत्पत्ति कशी झाली याचा जर आपण विचार करूं लागलों, तर आपणास असें दिसून येईल कीं, त्यांस त्यांची स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति वास्तविक सूर्यापासूनच मिळाली आहे.

कारण सूर्याच्या विसर्जक कर्तृत्वशक्तीपैकीं कांहीं शक्तीचा व्यय होऊन जिवंत झाडांस हवेंतील कार्बानिक आसिड वायुमधून सर्व सर्पणाचा मुख्य घटक जो कार्बन तो मिळालेला असतो. कार्बानिक आसिडामध्यें ज्या आक्सिजनाशीं कार्बन संयुक्त झालेला असतो, त्यापासून त्यास वेगळें काढण्यामध्यें सूर्याच्या विसर्जक शक्तीपैकीं

म्हटलें पाहिजे.

(२) **रसायनाकर्षणाचीं दुसरीं उदाहरणें**— रसायनाकर्षणानें उष्णता उत्पन्न होण्याचें याहून कांहींसें भिन्न उदाहरण घेऊं. मग्नीशिअम धातूची तार जाळली म्हणजे अत्यंत उष्णता व प्रकाश उत्पन्न होतात. तथापि हें ही उदाहरण वरच्या उदाहरणापासून मुख्यतत्वामध्यें भिन्न नाहीं. कारण उष्णतेचा व्यय करूनच मग्नीशिअम धातूस वेगळें काढिलें होतें; आणि तेणेंकरून रासायनिक स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति त्या धातूस प्राप्त झाली होती. म्हणजे भट्टींत दगडी कोळसे जाळून उष्णता व प्रकाश उत्पन्न करण्यांत आलीं व त्याच्या योगानें मग्नीशिअम धातूस वेगळें काढिलें; म्हणून हिजपासून उत्पन्न होणारी उष्णता व प्रकाश वास्तविक दगडी कोळशांपासूनच, अतएव सूर्यापासूनच उत्पन्न झाला, असें आपणास म्हणतां येईल.

२९९. **विद्युल्लतेपासून उष्णता**—विद्युत्प्रवाहापासून जी उष्णता व जो प्रकाश उत्पन्न होतो, तो अर्वाचीन काळच्या लोकांस चांगला माहीत आहे. बरें हें तरी उष्णतेचें स्वतंत्र उत्पत्तिस्थान आहे कीं काय तें पाहूं. परंतु थोड्याशा विचारांतीं हेंही स्वतंत्र उत्पत्तिस्थान नाहीं असें दिसून येईल. कारण विद्युत्प्रवाह यांत्रिक कार्यानें किंवा रसायनकार्यानें उत्पन्न करितां येतो. चुंबकजन्यविद्युद्यंत्र फिरविण्यास वाफेच्या यंत्रांतील उष्णतेचा व्यय होतो; आणि यामुळें वाफेच्या यंत्रांत जी दगडी कोळशांपासून उत्पन्न झालेली उष्णता अदृश्य झाली, तीच वास्तविक येथें विद्युल्लतेच्या रूपानें आपणास मिळाली किंवा विद्युन्मालेपासून जी विद्युल्लता उत्पन्न होते, ती केवळ रासायनिक स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्तीचा मोबदला असते.

३००. **उष्णतेचीं दुसरीं उत्पत्तिस्थानें**—पृथ्वीचा अंतर्भाग तिच्या पृष्ठभागापेक्षां जास्त उष्ण असल्यामुळें आपणास पृथ्वीपासून ही उष्णता मिळते. त्याच प्रमाणें गंधक व दुसरे पदार्थ यांस त्यांच्या संयुक्त पदार्थांपासून वेगळें काढण्यास जी पृथ्वीची उष्णता खर्च झाली होती, तिच्या मोबदला त्यांच्या आंगीं रासायनिक स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति आलेली असते. म्हणून त्यांस जाळलें म्हणजे उष्णता उत्पन्न होते. तसेंच सूर्याच्या उष्णतेनें जें पाणी आरंभीं वर चढविलें होतें, तें पाणी खालीं पडतांनाही उष्णता उत्पन्न होते. तसेंच पदार्थ उंच ठिकाणाहून नीच ठिकाणीं पडतांनाही उष्णता उत्पन्न होते.

३०१. **साधारण अनुमानें**—कर्तृत्वशक्तीचें एका रूपांतून दुसऱ्या रूपांत रूपांतर होण्याविषयीं जे अनेक प्रकार सांगितले, ते बाह्यात्कारी फार गोंधळाचे दिसतात. तरी त्यांत एक मोठा सिद्धांत आपल्या अनुभवास येतो. तो सिद्धांत कर्तृत्वशक्तीचें नित्यत्व होय. याचा अर्थ असा कीं, निरनिराळ्या भागांनीं कोणतींही रूपें धारण केलीं तरी कर्तृत्वशक्तीचें एकंदर परिमाण नित्य समान राहतें. तथापि सूर्यमाले-

तील एकंदर कर्तृत्वशक्तीचें परिमाण सारखें असतें, असें मात्र आपणास म्हणतां येणार नाहीं; कारण या सूर्यमालेंतून एक प्रकारची कर्तृत्वशक्ति जाऊं शकते, व ती एकसारखी जात आहे. ती विसर्जक कर्तृत्वशक्ति होय. ज्यास आपण रिक्त अवकाश म्हणतों, त्या अवकाशांतून ईथक (ईथर) या काल्पनिक पदार्थाच्या द्वारें लहरींच्या रूपानें एकसारखी कर्तृत्वशक्ति जात आहे. या लहरी उष्णतेच्या किंवा प्रकाशाच्या असतात व यांचें ज्ञान आपल्या इंद्रियांस होत नाहीं.

३०२. **कर्तृत्वशक्तीचा विक्षेप**—ज्यांपासून आपणांस यांत्रिक काम करून घेतां येतें अशीं जीं कर्तृत्वशक्तीचीं रूपें असतात, तीं आपणास उपयोगी पडतात. यांत्रिक काम करण्यास उपयोगी अशा रूपांतून यांत्रिक काम करण्यास निरूपयोगी अशा रूपांत कर्तृत्वशक्तीचें रूपांतर झालें म्हणजे कर्तृत्वशक्तीचा विक्षेप किंवा भ्रंश झाला असें म्हणतात. **सर उइलियम टामसन** यानें असें सिद्ध करून दाखविलें आहे कीं, जरी कर्तृत्वशक्तीचें एकंदर परिमाण नित्य समान असतें, तरी उपयोगी रूपांतून निरूपयोगी रूपांत जाण्याचा कर्तृत्वशक्तीचा सतत कल असतो.

कर्तृत्वशक्तीच्या ज्या रूपास उष्णता म्हणतात, तिचाच या संबंधानें विचार करूं. ज्या यंत्रानें उष्णता खर्च करून तिच्या मोबदला आपणास काम करून घेतां येतें, अशा यंत्रांत मुख्य गोष्ट अशी असावी लागते कीं, यंत्राचा एक भाग उंच उष्णमानावर व एक भाग नीच उष्णमानावर असे असावे लागतात. ज्या यंत्रांत उष्णतेचें उत्पत्तिस्थान आणि शीतक समान उष्णमानावर असतात, त्या यंत्रानें कांहीं काम होणार नाहीं. आतां ज्या अर्थीं शीतकास केवळ शून्य उष्णमानावर ठेवितां येत नाहीं, त्या अर्थीं जेव्हां आपण कांहीं उष्णता उं खर्च करून तिच्याकडून कांहीं काम करून घेतों, तेव्हां आणखी कांहीं उष्णतेस (उ—उं) उत्पत्तिस्थानाच्या उष्णमानावरून शीतकाच्या उष्णमानावर नेणें भाग पडतें; आणि या शेवटल्या स्थितींत ती काम करण्याच्या निरूपयोगी असते. याशिवाय वहनानें, प्रापणानें, आणि विसर्जनानें कांहीं उष्णता जाते, आणि यंत्राचे निरनिराळे भाग आणि सभोंवतालचे पदार्थ या सर्वांचें सारखें उष्णमान होण्याचा सतत कल असतो. सारांश आपण नेहमीं असें पाहतों कीं, (१) बरीच उष्णता कामास निरूपयोगी अशा रूपांत जाऊं दिल्या शिवाय आपणास कांहीं विवक्षित उष्णतेपासून यांत्रिक काम करून घेतां येत नाहीं; (२) सर्व उष्णतेचा चहूंकडे सारख्या मानानें पसरण्याचा कल असतो, व अशा स्थितींत ती कामाच्या निरूपयोगी असते.

पृथ्वीच्या संबंधानें जी स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति पदार्थाच्या आंगीं असते, तिचेंही उदाहरण घेऊं. कोणत्याही यंत्रांत घर्षण सर्वथैव टाळतां येत नाहीं. याचा अर्थ असा झाला कीं, उपयुक्त अशा स्थानविशिष्ट कर्तृत्वशक्तीचें रूपांतर उष्णतेंत होतें. आणि हिचा विक्षेप किंवा भ्रंश होऊन ती निरूपयोगी होते. हीच गोष्ट इतर रूपांसही लागू आहे.

या प्रकारचे विचार गणितशास्त्राच्या सिद्धांतांनींही सिद्ध झाले आहेत, व त्यांचा खालील एका सिद्धांतांत समावेश होतो.

सर्व प्रकारच्या कर्तृत्वशक्तींचा अखेरीस उष्णतेंत रूपांतर होण्याचा कल असतो, व ती उष्णता सर्वत्र पसरते. हा परिणाम हळू हळू घडत जातो आणि अशा रूपांत ती उष्णता कोणतेंही यांत्रिक काम करण्यास निरुपयोगी असते.

प्रकरण १३ यांवर प्रश्न व उदाहरणें.

(१) खालील तीन उदाहरणांत किती फुटपौंड काम झालें तें काढः—

(अ) पाण्यानें भरलेली एकेक घागर ३० पौंड वजनाची आहे. असल्या तीन घागरी घराच्या शेवटच्या मजल्यावर चढविल्या व त्या मजल्याची एकंदर लंबोत्तर उंची ५० फूट आहे.

(ब) एका उतरणीवर एक ३ हंड्रेडवेटाचें वजन अर्धा मैल अंतरांतून ढकलीत नेलें आहे. उतरणीचा चढ तीन फुटांत १ फूट आहे.

(क) एका घड्याळाचें वजन २½ फूट उंचींतून गुंडाळून वर चढविलें आहे. हें वजन २ पौंड १० औंसांचें आहे. हें वजन चढविण्यास सहाय्य देण्याकरितां दुसरें एक ६ औंसांचें वजन लाविलेलें आहे व तें तेवढ्याच उंचींतून खालीं उतरलें आहे.

(२) एका कमानीस ९ इंच अंतरांतून मागें सारिलें आहे. आरंभीं कमानीच्या अंगीं कांहीं जोर नव्हता; परंतु मागें सारिल्यावर तिच्या अंगीं स्थितिस्थापक जोर ३० पौंड वजनाचा आला आहे. ज्या अंतरांतून कमानीस आखडलें आहे त्या अंतराच्या प्रमाणांत तिच्या अंगीं आलेला स्थितिस्थापक जोर असतो, असें कल्पिल्यास कमान आखडण्यांत किती काम झालें तें काढ.

(३) तीन पौंड वजनाची एक गोटी दर सेकंदास २ फूट या वेगानें चलन पावत आहे. तर तिच्या अंगीं किती फुट पौंडाची गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति आहे तें सांग.

(४) एक हंड्रेडवेट वजनाचा तोफेचा गोळा दर सेकंदास १००० फूट या वेगानें चलन पावत आहे. त्यास थांबविण्यासाठीं किती काम खर्च करावें लागेल?

(५) एक पौंड पाण्याचें एक अंश उष्णमान चढविण्यास जी उष्णता लागते त्या उष्णतेस एक अंश उष्णता ह्मणतात; अशा १०० अंश उष्णतेचा यांत्रिक सममूल्यक फुटपौंडांत काढ.

(६) एक पौंड २ औंस पाण्याचें २°.३ शं उष्णमान चढविलें आहे. हें उष्णमान चढविण्यास जी उष्णता लागली ती किती फुटपौंडांबरोबर होईल?

(७) २ टन वजनाचा पदार्थ २० फूट उंचीवरून खालीं पडला व त्याच्या सर्व कर्तृत्वशक्तीचें उष्णतेंत रूपांतर झालें. तर किती अंश (पौंड शतभाग) उष्णता उत्पन्न होईल?

(८) दर सेकंदास ६९५ फूट या वेगानें जाणाऱ्या २ हंड्रेडवेट वजनाच्या पदार्थास थांबविलें आहे. सर्व कर्तृत्वशक्तीचें रूपांतर उष्णतेंत झालें असें मानिल्यास किती उष्णता उत्पन्न होईल ?

(९) दहादहा पौंड वजनाचे दोन लोखंडाचे तुकडे दोन मनोऱ्यावरून कठीण व अवाहक अशा पृष्ठभागावर खालीं फेंकून दिले. एका मनोऱ्याची उंची २५० फूट आहे, व दुसऱ्याची २०० फूट आहे. लोखंडाची वि. उ. ·११३८ आहे. विसर्जनानें, वहनानें वगैरे कांहीं उष्णता गेली नाहीं अशी कल्पना केल्यास प्रत्येक लोखंडी तुकड्याचें उष्णमान किती अंश वाढेल?

(१०) लोखंडाची विशिष्ट उष्णता ०·११ आहे असें घेतलें तर अवाहक व कठीण अशा पदार्थांवर लोखंडाच्या गोळ्यानें किती वेगानें पडावें म्हणजे त्याचें उष्णमान १°श चढेल ?

(११) आगगाडीच्या डब्याची ६० टन वजनाची रांग दर तासास ४५ मैल या वेगानें चालत आहे. तिला थांबविल्यास किती अंश उष्णता उत्पन्न होईल ? एक पौंड पाण्याचें एक अंश फारेनहीट उष्णमान वाढविण्यास जी उष्णता लागेल त्या उष्णतेस एक अंश उष्णता समजून तसले किती अंश उष्णता उत्पन्न होईल तें काढ.

(१२) ०°श उष्णमानाच्या १ पौंड बर्फाची १००°श उष्णमानाची एक पौंड वाफ करण्यास किती फुटपौंड काम लागेल ?

(१३) एका उष्णता यंत्रांत उष्णतेचें उत्पत्तिस्थान ११७°श. उष्णमानावर आहे व शीतक २७°श. उष्णमानावर आहे. हें उत्तम यंत्र आहे असें समजून याचें सामर्थ्य काढ.

(१४) वरील उदाहरणांत उष्णतेच्या उत्पत्तिस्थानापासून ७८ अंश उष्णता गेली तर त्यापासून किती काम होईल ?

(१५) वरील उदाहरणांतील सर्व उपयुक्त उष्णता ४० पौंडाचें वजन फेंकण्यांत खर्च केली तर तें वजन किती वेगानें चलन पावेल ?

प्रकरण १४.

उष्णतेनें चालणारीं यंत्रें.

२०२. ऐतिहासिक माहिती—सन १६९८ सालपर्यंत मनुष्यास जें कांहीं काम करून घ्यावयाचें असे तें सर्व मनुष्यें आणि जनावरें यांच्या शक्तीनें, किंवा वारा आणि नद्या यांस ताब्यांत घेऊन त्यांच्या सहाय्यानें करून घ्यावें लागत असे. या तारखेच्या पूर्वी वाफेची शक्ति कोणास माहीत नव्हती, किंवा कोणास माहीत असलीच तर कांहीं मोठ्या शास्त्रज्ञांस मात्र माहीत होती, आणि तेही यंत्रशाळेंतील प्रयोगांकरितां मात्र तिचा उपयोग करीत. खोल खाणींत जें पाणी लागे, तें काढण्यास फार श्रम लागत, आणि खाणींत काम चालण्याकरितां पाणी काढण्याचा बंब एकसारखा सुरू ठेवावा लागे. यामुळें हें पाणी काढण्यास ज्या शक्तीचा उपयोग करीत त्याहून स्वस्त म्हणजे कमी खर्चांत पाणी काढण्याची कांहीं तरी युक्ति काढावी, याविषयीं प्रथमतः लोक विचार करूं लागले. आणि हेंच काम करण्याकरितां प्रथमतः वाफेचा उपयोग यंत्र शाळेंतून व्यवहारांत आला.

सन १६९७।९८ सालीं साव्हेरी याणें प्रथमतः बंब चालविण्यास वाफेच्या शक्तीचा उपयोग केला. या बंबाचें पुढें आह्मी वर्णन करणार आहों, परंतु येथें एवढेंच सांगणें बस आहे कीं, हाल्लीं ज्यास वाफेचें यंत्र ह्मणतात, तशा प्रकारचें हें वाफेचें यंत्र नव्हतें.

या बंबांत फार ठळकठळक असे दोष होते. यांत न्यूकोमन याणें ज्या सुधारणा केल्या, त्यांचा उद्देश हे दोष काढण्याचा होता. याच्या यंत्रांत जें काम होई तें वास्तविक हवेच्या दाबानें होत असे. वाफेचा उपयोग एवढाच होई कीं, हवेच्या दाबाचें कार्य एका बाजूवर होत असलें, ह्मणजे दुसऱ्या बाजूवरील हवेचा दाब वाफेनें उचलला जात असे.

शेवटीं जेम्स वॉट यानें ज्यास वाफेचें यंत्र हें वास्तवीकपणें नांव देतां येईल, असें यंत्र प्रथमतः केलें. याच्या यंत्रांत बंबांचे भाग वाफेच्या दाबानें चलन पावत होते. साव्हेरी आणि न्यूकोमन हे कांहींसे कुशल, व कल्पक असे कारागीर असून त्यांनीं केवळ व्यवहारिक कार्यसाधनापुरता वाफेच्या यंत्राचा प्रथम शोध लाविला. परंतु वॉट हा खरा शोधक व यंत्रशास्त्र जाणणारा होता, आणि त्याची मति शास्त्रीय मूलतत्वांत चांगली चालत असून शास्त्रीय मूलतत्वांचा व्यवहारांत कसा उपयोग करावा, याविषयीं याची अक्कल फार चालत असे. वाफेच्या यंत्रांत एकामागून एक अशा अनेक सुधारणा तो करीत गेला, आणि शेवटीं त्यानें असें यंत्र बनविलें कीं, त्यांतील मुख्य भागांमध्यें अद्याप फारशा सुधारणा करितां आल्या नाहींत.

वाफेच्या यंत्राचा उपयोग पुढें गाड्या ओढण्यास करूं लागले. ही वाफेच्या यंत्राच्या

व्यावहारिक उपयोगाची दुसरी महत्वाची पायरी आहे. त्याविषयीं चार शब्द लिहिले म्हणजे वाफेच्या यंत्राचा संक्षिप्त इतिहास पुरा झाला असें म्हणतां येईल.

सन १७५९ सालीं जमिनीवर गाड्या ओढण्यास वाफेचा उपयोग करितां येईल अशी राबिनसन यानें प्रथमतः कल्पना काढिली.

सन १७८४ सालीं वॉट यानें गाड्या चालविण्याजोगें वाफेचें यंत्र करण्याचा पेटंट (परवाना) घेतला. परंतु त्याच्या हातून तें पुरें झालें नाहीं. परंतु त्याच्या हाता-खालीं काम करणारा मरडाक यानें त्या सुमारास तसल्या यंत्राचा एक नमुना करून दाखविला. सन १८०२ सालीं ट्रेव्हीथिक आणि व्हिवीयन यांणीं असलें एक यंत्र करून पेटंट घेतला. त्या यंत्रानें १० टनांचें ओझें घेऊन दर तासास सुमारें ५ मैल या वेगानें गाडी चालवितां येई.

सन १८०८ सालीं रूळांवरून मोठ मोठे गाडे ओढण्याजोगें यंत्र कुक यानें तयार केलें. हें यंत्र स्थिर असून दोऱ्यांनीं गाड्यां ओढल्या जात.

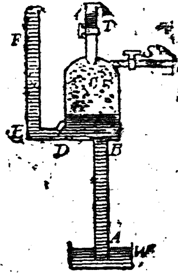
रूळांवर गाडी राहण्यास रूळांस खांचा पाडाव्या लागत व दुसरी कांहीं तरी युक्ति योजणें जरूर पडे; परंतु साफ व गुळगुळीत अशा लोखंडी रूळांवर साफ व गुळगुळीत अशा लोखंडी चाकांचा जो दाब पडतो, तो गाडीस रूळांवर स्थिर ठेवण्यास बस आहे, असा शोध जेव्हां लागला तेव्हां गाड्यां ओढण्यास वाफेच्या यंत्राचा उपयोग करणें अधिक साधें व सुलभ झालें.

परंतु निरनिराळे वेग देण्यास सर्पण कोणत्या प्रमाणानें जाळावें आणि फार मोठा वेग देणें झाल्यास अवश्य तितकी जलद वाफ कशी करावी, या दोन मोठ्या प्रश्नांचा उलगडा होणें राहिला. सन १८२५ च्या सुमारास स्टीव्हनसन यानें विस्तवाच्या भट्टींत जास्त कमी हवेचा प्रवाह सोडण्याची युक्ति काढिली. तेणेंकरून हवेचा प्रवाह हवा तसा जास्त किंवा कमी विस्तवांतून सोडण्याचें आणि इच्छेस येईल तेव्हां सरपण खूब जाळण्याचें साधन यंत्र चालविणाराच्या हातीं आलें. सन १८२९ सालीं फ्रान्स देशांत सेग्विन आणि इंग्लंद देशांत बूथ यांनीं नळ्यांचा जो तापक शोधून काढिला, त्याणें पाण्याचा पुष्कळ पृष्ठभाग उष्णतेसंनिध येऊं लागला, म्हणून वाफ उत्पन्न होण्याचें मानही वाढलें. स्टिफन्सन यानें सन १८२९ सालीं रॉकेट या नांवाचें गाडी चालविण्याचें वाफेचें यंत्र केलें, व त्या वेळीं जीं दुसरीं अनेक यंत्रें झालीं, त्यांत याचें उत्तम असें ठरलें. त्यांच नमुन्यावर हल्लींचीं यंत्रें केलेलीं असून त्यांची मोठी शक्ति व मोठा वेग यांचा सर्वांस अनुभव आहे.

याच बरोबर दुसऱ्या एक प्रकारचीं वाहक यंत्रें प्रचारांत आलीं; ज्यांनीं मोठमोठ्या आगबोटींवरील वाफेचीं यंत्रें व त्यांची रचना लक्षपूर्वक पाहिली असेल, त्यास त्यांची शक्ति व त्यांची नीटनेटकी सुंदर रचना यांचें आश्चर्य वाटल्यावांचून राहणार नाहीं.

वाफेच्या यंत्राची ही थोडक्यांत संक्षिप्त माहिती सांगितली. आतां निरनिराळ्या यंत्रांचें तपशिलवार वर्णन करण्यास आरंभ करूं.

२०४. **साव्हेरीचें यंत्र**—या साध्या वाफेच्या बंबाचें मूलबीज येथें सांगतों. W ही एक खाणींच्या तळाशीं विहीर आहे, व तींत खाणींतील पाणी झिरपून जमत आहे. (आ. १३९ पहा.)



या विहिरींत A B ही नळी सोडलेली आहे, व ती B ठिकाणीं C या भक्कम भांड्यास जोडलेली आहे. B ठिकाणीं एक पडदा आहे, व तो फक्त वरच्या बाजूनें मात्र उघडतो. C मधील पाणी नेण्यास D E F ही एक नळी जोडलेली आहे. D ठिकाणीं एक पडदा आहे, तो फक्त बाहेरच्या बाजूस मात्र उघडतो. माथ्यावर T ही एक नळी असून उघड झांप करण्याचें तिला एक मळसूत्र (काक) आहे, व तिजमधून C भांड्यांत थंड पाणी उडवितां येतें. आणि भांड्याच्या माथ्याजवळ S ही एक कळी मळसूत्राची दुसरी नळी आहे, व तिजमधून भांड्यांत वाफ घेतां येते.

आकृति १३९ वी.

या यंत्राचें कार्य याप्रमाणें होतें. प्रथमतः C मध्यें वाफ सोडून त्यांतील सर्व हवा घालवितात. नंतर S दार बंद करून T मधून थंड पाणी C भांड्यांत शिंपडतात. येणेंकरून तेथील बरीच वाफ थिजून पूर्वींच्याहून तिचा दाब पुष्कळ कमी होतो, किंवा ती जागा अंशतः रिती होते. D द्वार मोकळें असल्यामुळें आरंभीं वाफेचा दाब हवेच्या दाबा इतका होता. परंतु आतां वाफ थिजल्यानें तो कमी होतो. याप्रमाणें C भांडें रिक्त करून T द्वार बंद करितात. C मधील वाफ थिजतांच हवेच्या दाबानें D द्वारांतील पडदा बाहेरून बंद होतो. यामुळें विहिरींतील पाण्यावर जो हवेचा दाब असतो, त्यानें A B नळींतून पाणी C मध्यें ढकलेलें जातें. A B नळी ३० फुटाहून कमी उंचीची ठेवितात. C मध्यें पाणी आलें म्हणजे त्याच्या दाबानें B पडदा बंद होऊन तें पुनः परत खालीं जात नाहीं. नंतर C मध्यें पुनः वाफ घेतात, आणि या वेळीं ती जास्त जोराची किंवा दाबाची असते. या दाबानें D पडदा उघडून D E F नळींत पाणी चढून बाहेर जातें. आणि D पडदा बाहेरून बंद होत असल्यामुळें परत आंत जात नाहीं. जितक्या उंचीवर पाणी चढविणें असेल, तितकें चढविण्या जोगा वाफेचा दाब असला पाहिजे. आकृतींत हेंच कार्य दाखविलें आहे. येणें करून C भांडें पुनः वाफेनें भरतें. नंतर S द्वार बंद करून T द्वारानें पाणी शिंपडून C मधील वाफेस थिजवितात, आणि पुनः सर्व कृति पूर्वींप्रमाणें करितात.

३०५. **या बंबांतील दोष.**—D E F या नळींतून पाण्यास वर लोटण्यास जेव्हां वाफेचा उपयोग करावा लागतो, तेव्हां ती वाफ C या थंड भांड्यांत नेहमीं घ्यावी लागते, आणि ती थंड पाण्याचे सन्निध राहते, ह्मणून तिच्या थिजण्यानें पुष्कळ उष्णता व्यर्थ जाते; हा एक यांतील मोठा दोष आहे. या शिवाय बंबास खाणींत फार खोल जागीं चालू ठेवावें लागतें. कारण विहिरीच्या पाण्यावर सुमारें २० फुटांहून जास्त उंच C भांडें ठेवितां येत नाहीं; आणि S आणि T द्वारांतील मळसूत्रांची आलटून पालटून उघड झांप करणें हें ही फार श्रमाचें असतें.

२०६. न्यूकोमन याचें यंत्र—साव्हेरीच्या यंत्रापेक्षां हें यंत्र कांहीं गोष्टींत फार सुधारलेलें होतें. कलम २०८ मध्यें वॉट याच्या एके बाजूनें कार्य करणाऱ्या यंत्राचें जें वर्णन दिलें आहे, तें वाचकांनीं पाहिलें, म्हणजे त्यांस न्यूकोमन याच्या यंत्राचें स्वरूप पुढील वर्णनावरून सहजच लक्षांत येईल.

याच्या यंत्रांत एक खालवर होणारी आडवी दांडी होती. तिच्या एका टोंकास एक सांखळी व एक दांडा लाविलेला असून त्यानें पाणी काढण्याच्या बंबांतील दट्ट्यास वर उचलतां येई. आणि तसेंच दांड्यास एक वजन लाविलेलें असे, त्यानें दट्ट्याचा ठोका सुरू होते वेळीं हें टोंक खालीं उतरण्यास सहाय्य होई. दुसऱ्या टोंकासही एक सांखळी लावलेली असून तिला दट्ट्याचा दांडा आणि दट्ट्या अशीं अडकलेलीं असत व हा दट्ट्या एका नळांतून वर खालीं जाई. नळांत खालून वाफ घेण्याची योजना असे. आणि वाफेनें दट्ट्यास वर सारिलें म्हणजे दांडीच्या दुसऱ्या टोंकास जें वजन टांगिलेलें असे त्याच्या साहय्यानें तो वर चढे. दट्ट्या नळाच्या माथ्याजवळ गेला, आणि त्या खालील सर्व जागा वाफेनें भरली म्हणजे वाफ येण्याच्या द्वारांतील कॉक फिरवून तिला बंद करीत, आणि दुसरा काक फिरवून त्यांत पाण्याचा झोत घेत. येणेंकरून वाफ थिजली; म्हणजे दट्ट्यावर जो हवेचा दाब असे, त्या दाबानें तो खालीं जाई. दट्ट्याचें क्षेत्र आणि त्याखालील वाफ ज्या मानानें थिजली असेल तें मान या दोहोंवर दट्ट्याचा खालीं जाण्याचा जोर अवलंबून असे. येणेंकरून फिरत्या आडव्या दांड्याचें दुसरें टोंक वर उचले, व त्याबरोबर बंबाचा दट्ट्याही उचले. हीच कृति पुनः पुनः करून यंत्र चालू ठेवीत.

२०७. न्यूकोमन याचें खरें वाफेचें यंत्र नव्हतें.— पुढील कलमांत दिलेल्या आकृतीच्या सहाय्यानें या वर्णनावरून असें दिसून येईल कीं, या यंत्रांत जें काम झालें, तें दट्ट्या खालीं गेल्यानें झालें. आणि जो दट्ट्या खालीं गेला, तो वाफेच्या दाबानें न जातां हवेच्या दाबानें गेला, दट्ट्याच्या खालीं जो हवेचा दाब होता तो वाफेच्या थिजण्यानें नाहींसा मात्र झाला. म्हणून हें केवळ हवेच्या दाबानें चालणारें यंत्र होतें.

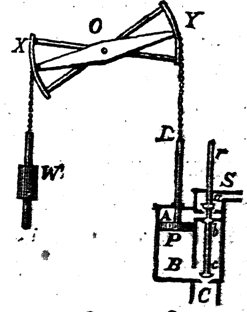
जरी न्यूकोमन याच्या यंत्रांत साव्हेरी याच्या यंत्रापेक्षां अनेक गुण होते, तथापि त्यांत कित्येक ठळक दोष होते. त्यांत मुख्य दोष हा होता कीं, जो नळ नुकता थंड झाला होता, त्यांत वाफ घ्यावी लागत होती. आणि यामुळें बरीच वाफ उगाच थिजून उष्णता व्यर्थ जात असे. आणि नंतर तोच नळ पुनः वाफेनें भरून त्यास उष्ण केलें म्हणजे नळांत पाणी सोडून वाफ थिजवावी लागत असे. यामुळें पुष्कळ वाफ व्यर्थ जाई, आणि कांहीं एक उपयोग न होतां बऱ्याच उष्णतेचा व्यय होई.

२०८. वॉट याचें एका बाजूनें कार्य करणारें यंत्र.—वरील यंत्रांत वाफ आणि उष्णता यांचा जो व्यर्थ खर्च होतो, तो बंद करण्याकरितां काय योजना करावी, या कडे वॉट याच्या शोधक बुद्धीचें प्रथम लक्ष गेलें. यंत्राच्या नळापासून शीतक वेगळा ठेवून त्यानें हें कार्य साधून घेतलें. म्हणजे ज्या नळांतील दट्ट्याखालीं वाफ घ्यावयाची त्या नळापासून ज्या खोलींत थंड पाणी उडवून वाफ थिजवावयाची, ती

सांगितलेला X O Y दांडा O या बळकट टेकूवर खालवर सरणारा आहे. याच्या प्रत्येक टोंकावर वर्तुळकंसासारखी पट्टी असून दांडा खालवर होईल त्याप्रमाणें तिजवर सांखळी गुंडाळते, व सुटते. ह्मणून जरी दांडा वक्ररेषेंत फिरतो, तरी सांखळीची ओढ नेहमीं लंब दिशेंतच राहते.

दांड्याच्या X टोंकास W हें वजन टांगलेलें असून तें वजन नळींतील दट्ट्या व त्यास लावलेला दांडा यांस नेहमीं वर उचलून किंवा तोलून धरितें. Y या टोंकास एक सांखळी अडकविलेली असून ती P R या दट्ट्याच्या दांड्यास अडकविलेली आहे. P हा दट्ट्या A B या नळींत गच्च बसत असून खालवर सरणारा आहे. (आ. १४० पहा).

या नळीस एक माथ्याजवळ व एक बुडाजवळ अशीं दोन द्वारें आहेत. r, a, b, c, हा एक उभा दांडा असून त्यास तीन ठिकाणीं a, b, c, या तीन शंकाकार गोळ्या बसविलेल्या आहेत. या गोळ्या दुसऱ्या उलट्या शंकाकार भोंकांत बरोबर बसून त्यांचें उघड झांप करणाऱ्या पडद्याप्रमाणें कार्य होतें. a, व c, हे दोन पडदे फक्त वरच्या बाजूनें उघडतात, आणि b पडदा फक्त खालच्या बाजूनें मात्र उघडतो. S या नळीनें तापकांतून वाफ येते. C या द्वारानें वाफ एका वेगळ्या खोलींत जाते, व तेथें ती थिजते. या शीतकाचें पूर्ण वर्णन पुढें करणार आहों; याकरितां येथें इतकेंच सांगून ठेवितों कीं, (१) शीतकांत थंड पाण्याचा झोत सोडल्यामुळें वाफ थिजते; (२) शीतकास एक बंब लाविलेला असतो, त्याच्या योगानें त्यांत जमलेलें पाणी व वाफ यांस बाहेर काढितां येतें. (३) शीतकाच्या सभोंवार बाहेरून थंड पाणी ठेवून त्यास थंड ठेवितात.



आकृति १४० वी.

यंत्राचें कार्य—आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें W या वजनानें आरंभीं दट्ट्या नळीच्या माथ्यापाशीं उचललेला असतो. B आणि C या अवकाशांतील सर्व हवा बाहेर घालवून त्यांत वाफ आरंभीं सोडितात; आणि नंतर यंत्र चालू करितात. हें कार्य करून घेण्याकरितां निराळीं कांहीं द्वारें ठेविलेलीं असतात, तीं आकृतींत दाखविलेलीं नाहींत.

r हा दट्ट्या आकृतींत दाखविलेल्या स्थितींत वर उचलला ह्मणजे a द्वार उघडून व b बंद होऊन दट्ट्याच्या वर वाफ घेतां येते, आणि c हें द्वार खुलें होऊन दट्ट्याच्या खालील नळींतील अवकाश आणि शीत करण्याची खोली या दोहोंचा संबंध होतो. या वेळीं शीतकांत, थंड पाणी मारून तेथील वाफ वगैरे थिजवितात.

यामुळें B C अवकाशांतील वाफ थिजून तेथील अवकाश बराच रिक्त होतो. ह्मणून दट्ट्यावर घेतलेल्या वाफेनें दट्ट्या खालीं सरतो. वाफेचा दाब, दट्ट्याखालील रिक्तता, आणि दट्ट्याचें क्षेत्र या तिहींवर दट्ट्याचा खालीं सरण्याचा जोर अवलंबून असतो.

दट्ट्या खालीं सरला ह्मणजे O टेंकूवरील X Y आडव्या दांड्याचें Y टोंक खालीं जातें, आणि X टोंक वर चढतें, व त्या बरोबर सांखळी व तिला जोडलेला पाणी चढविण्याच्या बंबाचा दांडा असे वर उचलतात. यास दट्ट्याचा ठोका असें म्हणतात.

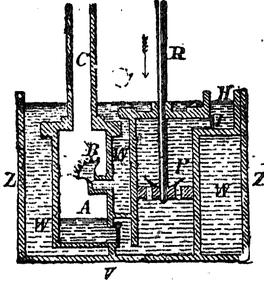
जेव्हां दट्ट्या नळीच्या तळाशीं जातो तेव्हां r हा दांडा खालीं सरतो; आणि a पडदा बंद होऊन दट्ट्यावर वाफ जाण्याचें बंद होतें आणि तसेंच c पडदा शीतकांत जाण्याच्या C द्वारांत बसून तेंही द्वार बंद होतें. परंतु दांडा खालीं सरल्यानें b द्वार उघडें होऊन दट्ट्यावरील व खालील अवकाश यांचा संबंध होतो, आणि W या वजनाच्या जोरानें दट्ट्यावर सरण्यास मोकळा होतो. याप्रमाणें दट्ट्यावरील वाफ शीत होऊन दट्ट्या नळीच्या माथ्याजवळ जातो, आणि पुनः r दांडा वर सरून दट्ट्याच्या वरच्या बाजूस वाफ जाऊन पुनः कार्य सुरू होतें.

यंत्रांतील कार्याविषयीं विचार—या यंत्रांत दट्ट्या जेव्हां खालीं सरतो, तेव्हां मात्र यंत्रानें काम होतें. ह्मणूनच यास एका बाजूनें कार्य करणारें यंत्र असें म्हटलें आहे. दट्ट्या वर सरतांना जर यंत्राच्या हातून काम व्हावयाचें असतें, तर X Y या फिरत्या दांड्याच्या टोंकांवरील पट्ट्यावर सांखळ्या लाविता आल्या नसत्या. या यंत्रांत जीं द्वारें व त्यांस बंद करणारे जे पडदे आहेत, त्यांविषयीं हें लक्षांत ठेवावें कीं, दट्ट्यावर वाफ जातांना वाफेच्या जोरास न जुमानतां b पडदा खालून दाबला जाऊन तेथील द्वार बंद होतें; कारण दट्ट्या खालीं सरण्याच्या आरंभीं c पडदा शीतकांतील मुळारंभींच्या वाफेच्या कांहीं दाबानें वर उचलला जातो. या प्रकारच्या पडद्यांत कांहीं काम व्यर्थ जातें, आणि यामुळें पुढें दोहों बाजूनें कार्य करणाऱ्या यंत्राच्या वर्णनांत D आकाराच्या पडद्याचें जें वर्णन केलें आहे, त्याहून वर सांगितल्या आकाराचा पडदा गौण असतो.

२०९. **शीतक**—वाफेच्या यंत्रांत वॅट यानें जी पहिली मोठी सुधारणा केली तिजकडे आतां वळूं. वेगळा व अलग शीतक हीच त्याची पहिली सुधारणा होती. त्या शीतकाचें वर्णन खालीं केलें आहे:—

Z Z हा एक लोखंडी हौद आहे. (आ. १४१ पहा) या हौदांत वाफ थिजविण्याची A ही खोली बुडविलेली आहे; व ती मागील कलमाच्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें दट्ट्याच्या नळास c या नळीनें जोडलेली आहे. W W W या अवकाशांत थंड पाणी भरलेलें असून त्यांतील कांहीं पाणी B या हजाऱ्यानें A या खोलींत मारतां येतें. A खोलींत आलेली वाफ शीत झाली ह्मणजे तिचा दाब हवेच्या दाबाहून कमी होऊन तिजमध्यें हवेच्या दाबानें B हजाऱ्यांतून पाण्याचे तुषार खोलीभर

उडतात व तेणेंकरून वाफ चांगली थिजते. A खोलीच्या शेजारींच दुसरा एक नळ आहे, व तो A खोलीशीं बाहेर उघडणाऱ्या अशा V पडद्यानें जोडलेला आहे. या नळांत P हा दट्ट्या R दांड्यानें खालवर सरतो. याचा उपयोग A खोलींतील ऊन पाणी व हवा यांस तेथें न जमूं देतां बाहेर काढण्यास होतो. याचें कार्य खालीं लिहिल्याप्रमाणें होतें. दट्ट्यास दोन किंवा अधिक भोंकें असून त्यांत वरच्या बाजूनें उघडणारे पडदे असतात. म्हणून P हा दट्ट्या नळाच्या तळापर्यंत सहज खालीं उतरूं शकतो. कारण दट्ट्याखालीं पाणी किंवा हवा असल्यास ती दाबली जाऊन



आकृति १४१ वी.

त्या दाबानें दट्ट्यांतील पडदे वरच्या बाजूस उघडतात, आणि खालील पाणी किंवा हवा वर जाऊन दट्ट्या खालीं सरतो. परंतु दट्ट्या वर उचलला म्हणजे पडदे बंद होऊन खालीं रिती जागा राहते. या वेळीं A खोलींत कांहीं हवा व न थिजलेली वाफ असल्यास त्यांच्या दाबानें A खोलीच्या बुडाशीं असलेला V पडदा बाहेरच्या आंगानें उघडून A खोलीच्या तळावरील गरम पाणी बाहेर पडतें, आणि P दट्ट्या वर गेला म्हणजे नळांत भरतें. जेव्हां P दट्ट्या खालीं सरतो, तेव्हां हें पाणी V पडदा बाहेरून मात्र उघडणारा असल्यानें A खोलींत परत जात नाहीं. म्हणून P दट्ट्यानें पाणी दाबलें जाऊन पाण्याच्या दाबानें दट्ट्यांतील पडदे आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें वरच्या बाजूस उघडतात, आणि सर्व पाणी दट्ट्याच्या वरल्या भागास जातें. पुनः P दट्ट्या वर उचलला म्हणजे दट्ट्यांतील पडदे बंद झाल्यामुळें वरचें पाणी खालीं येत नाहीं, परंतु पुनः A खोलींतील दाबानें V पडदा उघडून तिजमधील पाणी बाहेर येतें. आणि P दट्ट्या वर जात असतां I हा पडदा बाहेरच्या आंगानें उघडून सर्व पाणी H या हौदांत ढकललें जातें. याप्रमाणें A या खोलींत ऊन पाणी जमत नाहीं, आणि कांहीं हवा असल्यास तीही पाण्याबरोबर बाहेर जाते. ह्मणजे V या पडद्याचा हवा काढण्यास व पाणी काढण्यास उपयोग होतो.

Z Z भांड्यांतील W W पाणी वाफ थिजल्यामुळें बाहेर पडलेल्या गुप्त उष्णतेनें गरम होतें. ह्मणून Z Z या हौदाच्या तळावर थंड पाण्याचा पुरवठा करीत राहिलें पाहिजे, म्हणजे ऊन झालेलें पाणी वर येऊन वरून बाहेर जाईल.

A खोलींतील जें गरम पाणी H हौदांत जातें, त्याचा उपयोग तापक भरण्यास करितात, व त्याकरितां निराळा एक बंब लाविलेला असतो.

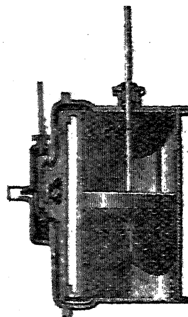
पाण्याच्या पेल्यांत बुडविलेली व दोहोंबाजूनें उघडी अशी नळी घेऊन तिचा माथा जर A खोलीशीं जोडिला, तर A खोलींत ज्या मानानें रिक्तता होईल, त्या मानानें नळींतून पाण्यावर दाब कमी पडून पेल्यांतील पाण्यावर जो हवेचा दाब आहे, तो दाब जितका नळींतील दाबाहून जास्त असेल, त्याप्रमाणें नळींत पारा चढेल. नळींतील

पाऱ्याची उंची मापून खऱ्या रिक्ततेहून किती दाब जास्त आहे, हें आपणास हवें तेव्हां पाहतां येईल. कारण जवळच एक खरें भारमापक ठेवून त्यांतील पाऱ्याच्या उंचीशीं नळींतील पाऱ्याच्या उंचीची तुलना केल्यानें हें समजेल.

उदाहरणार्थ भारमापकांतील पारदस्तंभाची उंची ३० इंच असेल, तर हवेचा दाब दर चौरस इंचावर १५ पौंडांचा असतो. आतां जर A शीतकास जोडलेल्या नळींत ३० इंच उंचीचा पारा चढला, तर A शीतक अगदीं रिक्त आहे, असें म्हणतां येईल. परंतु जर शीतकास जोडलेल्या नळींत २८ इंच पारा चढलेला असला, तर A खोलींतील वाफेचा दाब २ इंच पाऱ्या इतका म्हणजे दर चौरस इंचावर एक पौंड दाब असेल हें उघड आहे.

३१०. **दोहों बाजूंनें कार्य करणारें यंत्र** (शीतकासह)—एका बाजूनें कार्य करणाऱ्या यंत्रांत वाफेचा दाब दट्ट्याच्या फक्त एका बाजूवर मात्र पडतो; आणि दुसऱ्या बाजूस रिक्तस्थळ होतें, म्हणून दट्ट्या एका बाजूस सरत असतां मात्र काम होतें, आणि दुसऱ्या बाजूस दट्ट्या सरतो तेव्हां कांहीं काम होत नाहीं. वाट यानें वाफेच्या यंत्रांत जी दुसरी सुधारणा केली, तिनें दट्ट्या खालीं सरतांना व वर सरतांना असे दोन्ही वेळां काम होऊं लागलें. हें साधण्याकरितां पुढें लिहिल्याप्रमाणें पाळी पाळीनें जोडाजोडी होणें अवश्य आहेः— (१) दट्ट्यावरील अवकाश तापकांतील वाफ येणाऱ्या नळीस जोडणें आणि दट्ट्या खालचा अवकाश शीतकाशीं जोडणें; (२) दट्ट्यावरील अवकाश शीतकाशीं जोडणें आणि खालचा अवकाश वाफ येणाऱ्या नळीशीं जोडणें. सर्व यंत्राचें वर्णन करण्यापूर्वी त्यांतील महत्वाच्या भागांचें वेगळें वेगळें प्रथमतः वर्णन करूं.

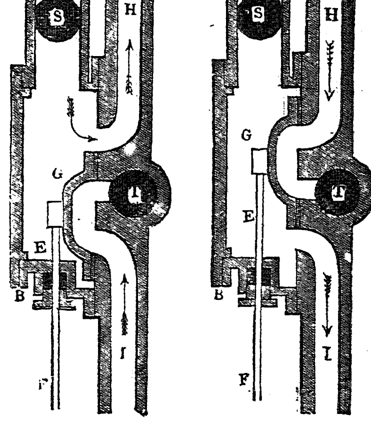
३११. **पुढें मागें सरणारा पडदा किंवा सरक पडदा** (स्लाइड व्हाल्व्ह)—वाफ दट्ट्याच्या खालीं आणि वर आलटून पालटून जावी याकरितां जोडाजोडींत आपोआप फेरफार होण्याकरितां जी योजना केलेली असते तिचें वर्णन प्रथम करूं. आ. १४२ मध्यें या पडद्याचा साधारण आकार दाखविला आहे. (आ. १४२ पहा) या पडद्याच्या आकारावरून यास D आकाराचा व्हाल्व्ह किंवा पडदा असें नांव आहे. दट्ट्याच्या नळाच्या बाजूस वाफ बाहेर न जाण्या जोगी एक गच्च पेटी आहे. या पेटींत S या नळींनें वाफ शिरते. ही नळी पुढील आकृतींत दाखविली आहे. या पेटीला H व I अशीं आणखीं दोन द्वारें आहेत; या द्वारांनीं वाफ नळाच्या माथ्याकडे व तळाकडे क्रमानें जाते.



आकृति १४२ वी.

हें वर्णन करण्याकरितां पुढील आकृतीचाच उपयोग करूं. (आ. १४३ पहा). F दांडा व S ही नळी हे भाग आकृति १४२ मध्यें ज्या स्थितींत दाखविले आहेत त्याहून किंचित् भिन्न स्थितींत येथें दाखविले आहेत. G हा पुढें मागें सरणारा तुकडा कांहींसा

व I ही द्वारें आलटून पालटून उघडीं होतात आणि पेटींतील वाफ नळाच्या माथ्याकडे व तळाकडे शिरते. एक द्वार उघडलें म्हणजे दुसरें द्वार बंद होतें. परंतु त्याच वेळीं बंद झालेला भाग T या नळीशीं जोडला जाऊन तिच्या योगानें शीतकाशीं जोडला जातो. यामुळें नळाच्या वरच्या भागीं दट्ट्यावर वाफ जाते तेव्हां दट्ट्याखालचा नळाचा भाग शीतकाशीं जोडला जातो; आणि खालच्या भागांत वाफ जाते तेव्हां वरचा भाग शीतकाशीं जोडला जातो. याप्रमाणें या साध्या योजनेनें आपणास पाहिजे तशा जोडाजोडी आपोआप आलटून पालटून होऊन इष्ट कार्य होतें.

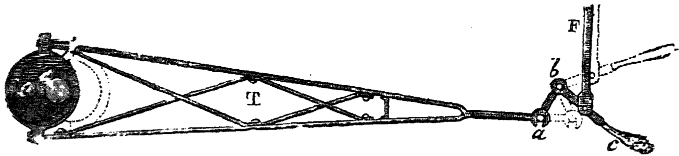


आकृति १४३ वी.

२१२. **सरक पडद्यास पुढें मागें सारणारा मध्य बाह्य (एक्सेंट्रिक).**—हा पडदा आपोआप पुढें मागें सरण्यास त्याच्या F दांड्यास पुढें मागें सरण्याची मंद गति दिली पाहिजे व ती गति नळांतील दट्ट्याच्या वर खालीं जाण्याच्या गतीशीं बरोबर मिळाली पाहिजे. कारण नियमित काळींच दट्ट्याच्या वरच्या व खालच्या आंगास वाफ गेली पाहिजे. याकरितां F दांड्यास मुख्य यंत्रानेंच गति मिळाली पाहिजे. दुसऱ्या स्वतंत्र शक्तीनें गति दिल्यास हें जुळणार नाहीं. हें कसें साधलेलें असतें तें खालीं सांगितलें आहे.

पुढें वाफेच्या यंत्राची जी पूर्ण आकृति दिली आहे (क. २१६ पहा) तिजमध्यें एक मोठें व जड असें चाक आहे. यास गतिचक्र (फ्लायव्हील) म्हणतात; व हें यंत्रानेंच आपल्या कण्यावर फिरतें, या चाकाचा जरी साक्षात् उपयोग नसला तरी स्थायिक यंत्रांत यंत्राच्या गतीस स्थिरता मिळण्या करितां हें चाक असतें व याचा उपयोग पुढें सांगण्यांत येणार आहे. नळांतील दट्ट्या वर जाऊन खालीं आला म्हणजे या चाकाचा आपल्या कण्यावर बरोबर एक फेरा होतो. या कण्यावर धातूच्या जाड पत्र्याचा एक वर्तुळाकार तुकडा बसविलेला असतो. हा पत्रा आकृतींत C या अक्षरानें दाखविला आहे. हा पत्रा चाकाच्या कण्यावर असा बसविलेला असतो कीं, याचा मध्य व कण्याचा मध्य हे एका रेषेंत नसतात, म्हणजे याचा मध्य कण्याच्या मध्याच्या बाहेर अस-

तो, ह्मणूनच यास इंग्रजींत एक्सेंट्रिक आणि मराठींत मध्यबाह्य असें नांव दिलेलें आहे. (आ. १४४ पहा) म्हणून चाकाचा कणा जसा फिरतो, तसा हा पत्रा एकाच



आकृति १४४ वी.

ठिकाणीं न राहतां वर्तुळाकार फिरत राहतो. या पत्र्याच्या सभोंवतीं एक तारांचें भक्कम कडें बसविलेलें असून त्या कड्यास T ही चौकट आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें बसविलेली आहे. या चौकटीचें दुसरें शेवट a b c या वांकड्या उच्चालकास a ठिकाणीं फिरकीवर बसविलेलें आहे. हा उच्चालक b या टेंकूवर फिरतो; आणि याच्या c या भुजेवर F हा दांडा बसविलेला आहे, व या दांड्यानेंच G सरक पडदा पुढें मागें सरतो.

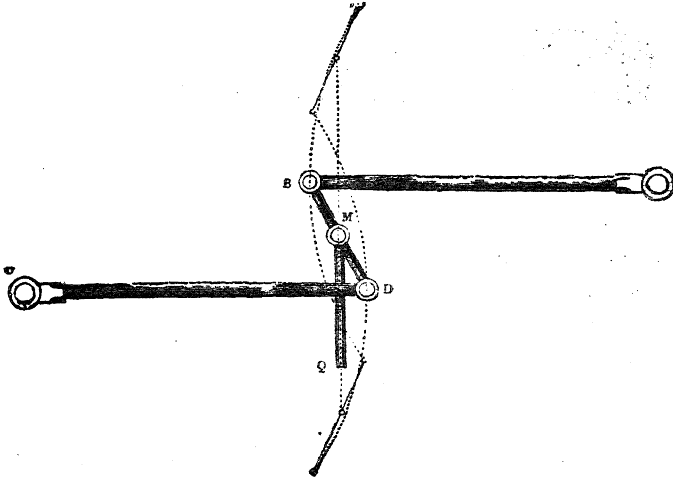
गतिचक्राचा (फ्रायव्हीलचा) कणा वर्तुळाकार फिरतो त्याप्रमाणें मध्यबाह्याचा (एक्सेंट्रिकचा) पत्रा वर्तुळाकार फिरतो व त्याच्या योगानें T चौकट किंवा सांगड पुढें मागें सरते; आणि a b c या उच्चालकानें F दांडा वर खालीं सावकाश सरतो.

दट्ट्या वर खालीं एक वेळ सरला ह्मणजे कणा व त्यास जोडलेला C पत्रा यांची एक फेरी होते. ह्मणून T चौकट, तीस जोडलेला F दांडा आणि त्या बरोबर G सरक पडदा हे तिन्ही दट्ट्या बरोबरच पुढें मागें सरतात. कण्यावर C पत्रा योग्य स्थळीं बसविल्यानें F दांडा व त्या बरोबर G सरक पडदा यांची गति अशी नियमित ठेवितां येते कीं वाफेचें नळांत शिरणें व बंद होणें योग्य काळीं घडतें. जर यंत्र फार जलद चालेल तर पडदाही तितकाच जलद पुढें मागें सरेल.

३१३. **वाट याची समांतर गतीची योजना**— कलम ३०८ यांत दाखविलेल्या एका बाजूनें कार्य होणाऱ्या यंत्रांत दांड्याच्या टोंकांवरील कमानीवरून सांखळ्या सोडुन दांड्याचीं टोंकें वर्तुळाकार फिरत असतां दट्ट्याच्या दांड्यास व बंबाच्या दांड्यास वर खालीं सरळरेषेंत सरण्याची गति मिळत होती.

परंतु दोहों बाजूंनीं कार्य ज्या यंत्रांत होतें त्यांत सांखळीनें काम होणार नाहीं. कारण यांत दट्ट्या खालीं सरावयाचा व वर यावयाचा असतो. म्हणून वाट यानें अशी योजना केली कीं तिच्या योगानें वरील प्रमाणें कार्य होऊं लागलें, व त्याची सर्व जोडाजोड कायम व दृढ राहून तिच्या योगानें दट्ट्याच्या दांड्यास आडव्या दांड्यास वर ढकलतां येऊं लागलें व खालीं ओढतांही येऊं लागलें. आ. १४५ मध्यें दाखविल्याप्रमाणें या भागाची रचना होती. C D आणि O D हे दोन धातूचे दांडे असून त्यांचीं टोंकें C व O या ठिकाणीं स्थायिक अशा टेंकूवर गच्च बसविलेलीं

आहेत. D व B हीं टोंकें फिरण्यास मोकळीं आहेत; परंतु त्यांस B M D या तुक-ड्यानें जोडलेलें आहे.



आकृति १४५ वी.

दट्ट्याचा दांडा Q M हा D M B या आंखूड तुकड्याच्या M मध्यावर फिरता बसविलेला आहे. दट्ट्याच्या दांड्याचें M शेवट वर खालीं सरळ रेषेंत सरकतें, परंतु B D टोंकें वर्तुळकंसांत फिरतात, हें बिंदुमय रेषांनीं दाखविलें आहे. याच D टोंकास दुसऱ्या एका दांड्याचें शेवट फिरतें बसविलेलें असतें, व याचें दुसरें शेवट यंत्राच्या वरील आडव्या दांड्यास बसविलेलें असतें. यामुळें या शेवटल्या दांड्याचें एक टोंक दट्ट्याच्या दांड्याच्या M शेवटाबरोबर वर खालीं सरतें, व दुसरें शेवट यंत्राच्या थोरल्या आडव्या दांड्या बरोबर फिरतें.

C B, B D, आणि O D या दांड्यांचें Q M या दट्ट्याच्या दांड्यास इच्छित दिशेस नेण्यापुरतें कार्य होतें. म्हणून Q M हा दांडा तेल लावलेल्या आधारा-मधून फिरविला, तरीही बस होतें.

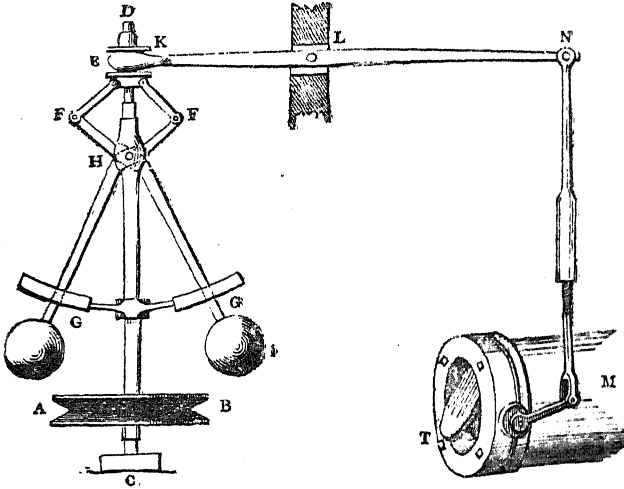
टीप—पुढें सर्व यंत्राची पूर्ण आकृति दिली आहे, तिजमध्यें समांतर गतीची अशी योजना नाहीं. परंतु यावरून समांतर गति देण्याची कोणतीही योजना असली, तरी तिचें तत्व समजेल.

३६४. नियामक (गव्हरनर)—कित्येक यंत्रास वरचे वर बदलणाऱ्या अशा प्रतिबंधाविरुद्ध कार्य करावयाचें असतें. जेव्हां यंत्रास काम करावयाचें नसतें, तेव्हां त्याचा वेग स्वाभाविकच जास्त वाढेल; आणि त्यास काम करावें लागलें म्हणजे

याचा वेग कमी होईल. वेगांत जो असा अनियमितपणा होण्याचा संभव असतो तो साधेल तर टाळला पाहिजे. वेग नियमित ठेवण्याकरितां जें एक साधें यंत्र असतें, त्याचें वर्णन करूं. यांचें जें कार्य होतें त्याचें बीज असें असतें कीं, यंत्र जास्त वेगानें, जलद चालूं लागलें कीं नळांत वाफ कमी शिरते, व सावकाश चालूं लागलें कीं, जास्त वाफ शिरते.

C D हा आंस उभा लंबाकार गरगरां फिरतो. (आ. १४६ पहा.) त्यावर

Fig. 27.



आकृति १४६ वी.

A B हें एक खांच पाडलेलें चाक असून त्यावर यंत्रापासून आलेला पट्टा असतो, व त्याच्या योगानें आंस गरगरां फिरतो. (यंत्राच्या मुख्य आंसाशीं दंतुर चक्रानें जोडूनही यास गति देतां येते.) म्हणून यंत्र जलद किंवा सावकाश चालेल त्या प्रमाणें हा आंस जलद किंवा सावकाश फिरेल. F H G व F H G यांच्या शेवटास दोन मोठ्या गोळ्या असून ते H या फिरकीवर फिरतात, आणि त्यांवरील गोळ्यांस वर खालीं ही सारतां येतें. म्हणून C D या आंसापासून दूर राहून किंवा जवळ राहून फिरण्यास त्यांस मोकळीक असते. परंतु त्यांस स्वतंत्रपणें गति मिळूं शकत नाहीं.

यंत्र जलद चालल्यामुळें जेव्हां हा आंस फार जलद फिरतो, तेव्हां या गोळ्या त्या बरोबर खूब जोरानें गरगरां फिरतात, आणि त्यामुळें केंद्रोत्सारिणी गतीनें C D या आंसापासून दूर जातात. H ही फिरकी गच्च बसविलेली आहे. म्हणून ज्याप्रमाणें G G हे तुकडे आंसापासून दूर जातात, त्याप्रमाणें F F हीं टोंकें ही दूर जा-

तात. याकरितां E तुकडा आंसावर खालीं ओढला जातो. परंतु E तुकड्यास K L N या उच्चालकाचें K टोंक गच्च बसविलेलें असतें, म्हणून तें ही खालीं सरतें. म्हणून N टोंक वर सरतें, आणि आकृतींत दाखविलेल्या जोडाजोडीमुळें T हा पडदा अंशतः बंद होतो. हा T पडदा दट्ट्या फिरण्याचा नळ आणि तापक या दोहोंस जोडणाऱ्या वाफ देण्याच्या नळीमध्यें असतो. यास्तव जर यंत्र जास्त वेगानें चालूं लागलें तर गव्हरनर याच्या योगानें नळांत कमी वाफ जाते, व तेणेंकरून वेग कमी होतो.

याचप्रमाणें जर यंत्र सावकाश चालूं लागलें तर गोळ्या C D आंसाजवळ येतात व तसेंच F F शेवटें ही परस्पर जवळ येतात; यामुळें E टोंक वर चढतें आणि तेणेंकरून T व्हाल्व्ह किंवा पडदा जास्त उघडला जातो; म्हणून यंत्राची गति मंद झाली तर लागलीच नळांत वाफ जास्त जाऊं लागून वेग वाढतो.

यावरून हें उघड आहे कीं यंत्रास जास्त कमी काम करावयाचें असलें तरी यंत्राच्या वेगांत फार फरक न पडूं देण्यास नियामक किंवा गव्हरनर हा भाग फार उपयोगी पडतो.

३१५. **संधायक दांडा, क्र्यांक आणि गतिचक्र (फ्लायव्हील)**—पुढील कलमांत जी यंत्राची पूर्ण आकृति दिली आहे तिजवरून आडव्या थोरल्या दांड्याच्या वर खालीं होण्याच्या गतीनें गतिचक्राच्या आंसास वर्तुळाकार गति मिळण्यासाठीं काय योजना असते तें स्पष्ट समजेल. C′ M हा दांडा थोरल्या आडव्या दांड्यास व गतिचक्राचा आंस यास जोडतो. म्हणून यास संधायक दांडा (कनेक्टिंग राड) म्हणतात. या दांड्याचें एक टोंक आडव्या दांड्यास बसविलेलें आहे. दुसऱ्या टोंकावर O′ M हा आंखूड तुकडा आहे. तो गतिचक्राच्या आंसाशीं काटकोनाकार पुढें आलेला आहे. यासच **क्र्यांक** असें म्हणतात. थोरल्या आडव्या दांड्याचें C′ टोंक व C′ M हा संधायक दांडा हे दोन्ही जसे वर खालीं सरकतात, त्याप्रमाणें O′ M हा **क्र्यांक**, गतिचक्र व त्याचा आंस यांची एक वर्तुळाकार फेरी होते.

जेव्हां **क्र्यांक**चा तुकडा जोडणाऱ्या दांड्याशीं काटकोनाकार होतो, त्या वेळीं संधायक दांड्याची वर किंवा खालीं ओढ फार जोराची असते. व म्हणून आंसही त्या वेळीं जोरानें फिरतो. हीच स्थिति जवळ जवळ आकृतींत दाखविली आहे. ज्या वेळीं **क्र्यांक** आणि संधायक दांडा असे दोन्ही एका रेषेंत येतात, त्या वेळीं संधायक दांड्याच्या अंगीं आंसास फिरविण्याची मुळींच शक्ति नसते. व अशी स्थिति प्रत्येक फेऱ्यांत दोन वेळां येते. यावरून संधायक दांड्याची शक्ति सर्व भागीं सारखी नसून दोन वेळां फारच कमी असते. या बिंदूंस **मृतबिंदू** (dead points) असें म्हणतात. याकरितां दट्ट्या खालवर जातांना त्याची गति सर्वदा सारखी असूं शकणार नाहीं. व हा दोष काढण्यास नियामक (गव्हरनर) उपयोगी पडत नाहीं.

ही अडचण दूर करण्याकरितां आंसावर एक थोरलें गतिचक्र बसविलेलें असतें यासच **फ्लायव्हील** म्हणतात. हें चाक मोठें असून त्याचा परिघ भक्कम जाड तुक-

त्याचा केलेला असतो. यास एकदां गरगरां फिरण्याची गति मिळाली, म्हणजे त्यास तसेंच फिरत ठेवण्यास फार शक्ति खर्च करावी लागत नाहीं. वस्तुतः घर्षणामुळें जो प्रतिबंध होतो, तेवढा अतिक्रमण करण्या पुरती शक्ति बस होते. परंतु हें चाक फार जलदीनें फिरत असलें म्हणजे त्याच्या आंगीं गतिविशिष्ट कर्तृत्वशक्ति फार असते. यामुळें त्यास थांबविण्यास किंवा त्याच्या फिरण्याच्या वेगांत फेरफार करण्यास फार शक्ति लागेल. याकरितां जर हें चाक मोठें व जड असेल, तर दट्ट्याच्या वर खालीं सरण्यांत जें शक्तींत वर सांगितल्या प्रमाणें अंतर पडेल, तेवढ्यानें चाकाच्या गतींत म्हणण्या सारखा फरक होणार नाहीं, आणि चाकाचा वेग बहुतेक सारखा राहील. व तो दट्ट्याच्या वर खालीं जाण्याच्या सरासरी शक्तीवर अवलंबून असेल. या गतिचक्राचा नियामकासही (गव्हरनरासही) फार उपयोग होतो. कारण वेगांत फार जलदी फेरफार झाले, तर तशा ठिकाणीं नुसत्या गव्हरनराचा उपयोग होत नसतो. जेव्हां हें गतिचक्र फार मोठें असतें, तेव्हां त्याच्या सरासरी वेगाच्या $\frac{1}{30}$ हून बहुधा जास्त फरक पडत नाहीं.

३१६. वाटचें पूर्ण यंत्र— वाट याच्या दोहों बाजूंनीं कार्य करणाऱ्या यंत्राचे जे वेगवेगळे भाग त्यांचें वर वर्णन केलें. आतां त्याच्या सर्व यंत्राची जी खालीं आकृति दिली आहे, ती समजण्यास अडचण पडणार नाहीं. या आकृतींत D च्या आकाराचा सरक पडदा मुळींच नाहीं. परंतु तेंच कार्य होण्याजोगी दुसरी योजना आहे. (आ. १८७ पहा.)

A B C D हा भाग समांतर गति देणारा आहे, व याच्या योगानें दट्ट्याचा दांडा सरळ वर खालीं सरतो. . .

A E P हा शीनकास रिक्त करणारा बंब आहे. याच्या योगानें शीनकांतील पाणी व हवा या दोहींस काढतां येतें.

H हा शीतक आहे.

R R हा थंड पाण्याचा शीतका सभोंवतीं हौद आहे. यांतील कांहीं पाणी H शीतकांत हवेच्या दाबानें t t या नळीनें घालवितां येतें.

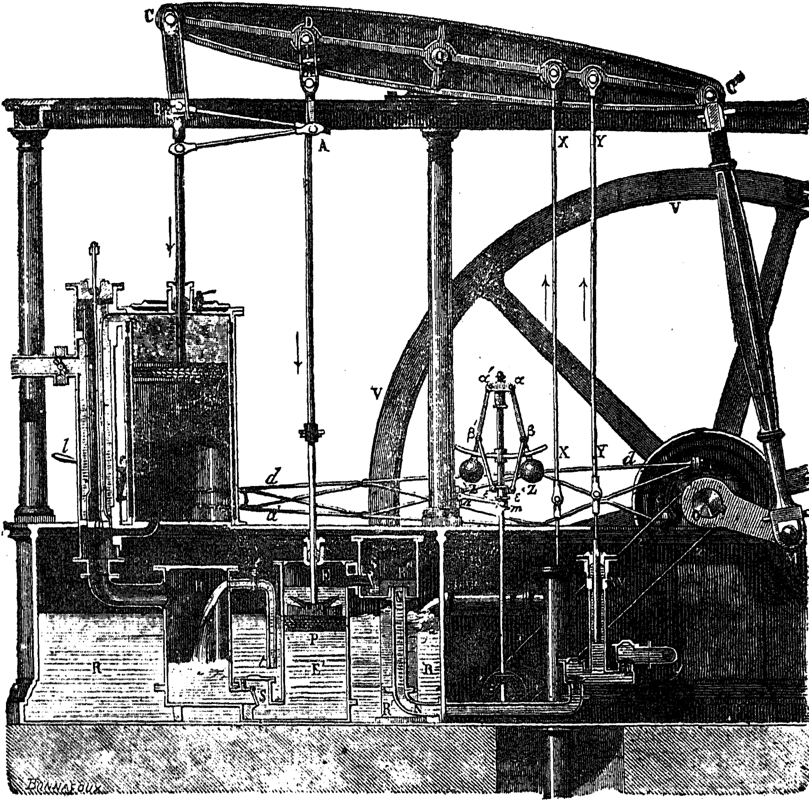
S S हे दोन पडदे असून त्याच्या योगानें रिक्त करणाऱ्या बंबाचें कार्य चालतें.

R या हौदांत शीनकांतील ऊन पाणी रिक्त करणाऱ्या बंबानें ढकललें जातें.

Y Y W हा एक पाणी उंच चढविण्याचा बंब आहे. व हाही थोरल्या आडव्या दांड्यास जोडलेला असून त्या बरोबरच चालतो. यानें R या हौदांतील ऊन पाणी यंत्राच्या तापकांत N N या नळीनें चढतें.

X X हा एक दुसरा बंब असून त्यानें R R या शीतका सभोंवतालच्या हौदांत थंड पाणी येतें.

C हा एक्सेंट्रिक ह्मणजे मध्यबाह्य आहे. d d ही त्यास जोडलेली चौकट आहे. या चौकटीच्या योगानें सरक पडदा फिरतो. l e हा दांडा आहे, व तो दांडा फिरवून या पडद्यांत वाफ येणें येते, व यंत्र चालू करतां येतें.



आकृति १४७ वी.

x x हा चामड्याचा पट्टा आहे, व तो गतिचक्राच्या आंसावरून Z O या चाकावर गेला आहे. त्याच्या योगानें Z Z या गव्हरनरांचा Y Y हा उभा आंस गरगरां फिरतो. m n हा एक उच्चालकाचा भाग असून त्याच्या योगानें वाफ येण्याच्या नळीवरील पडदा जास्त कमी उघडतो.

V V हें थोरलें गतिचक्र (फ्लायव्हील) आहे. Ó हा आंस आहे C′ M हा संधायक दांडा आहे, आणि Ó M हा क्यांक आहे.

२१७. **उच्च व नीच दाबाचीं यंत्रें**—वाफेच्या यंत्रांचे साधारणतः दोन वर्ग करितात. परंतु या दोन वर्गांत भेद असावा तितका स्पष्ट व ठळक नसतो.

(१) **नीच दाबाचीं यंत्रें**—ज्या यंत्रांत तापकांतील वाफेचा जोर दर चौरस इंचावर २० पौंड किंवा कमी असतो, त्या यंत्रास नीच दाबाचीं यंत्रें म्हणतात. हा वाफेचा दाब हवेच्या १५ पौंड दाबाहून फार थोडा जास्त असल्यामुळें दट्ट्याच्या वरच्या बाजूस जेव्हां वाफेचें कार्य होतें, तेव्हां जर दट्ट्या जोरानें खालीं जावा, अशी आपली इच्छा असेल, तर दट्ट्या खालील दाब काढून घेणें आपणास जरूर आहे. आणि हा दाब वाफ थिजवून नेहमीं काढून घेतात. याचा अर्थ असा झाला कीं, नीच दाबाच्या यंत्रांत शीतकाचा नेहमीं उपयोग करितात. या नीच दाबाच्या यंत्रांत दट्ट्या मोठ्या क्षेत्राचा असावा लागतो.

(२) **उच्च दाबाचीं यंत्रें**—जेव्हां वाफेचा दाब दर चौरस इंचावर २५ पौंड किंवा त्याहून जास्त असतो, तेव्हां त्या यंत्रास उच्च दाबाचें यंत्र असें म्हणतात. परंतु जेव्हां वाफेचा दाब दर चौरस इंचावर २० आणि २५ पौंड या दोहोंच्या दरम्यान असतो, तेव्हां त्या यंत्रास उच्च किंवा नीच दाबाचें यंत्र म्हणावें, हें स्पष्ट समजत नाहीं. कारण दोहों वर्गांमध्यें अगदीं स्पष्ट असा भेद ठरविलेला नाहीं.

आरंभीं उच्च दाबाच्या यंत्रास नेहमीं शीतक मुळींच असत नसे. ज्या ठिकाणीं शीतक व त्याचे बंब यंत्रास जोडण्यास सोईचें नसे, किंवा अशक्य असे, आणि नळ व त्यांतील दट्ट्या मोठ्या क्षेत्राचा करणेंही शक्य नसे, अशा ठिकाणीं यंत्रानें फार काम करावयाचें इष्ट असल्यास उच्च दाबाची वाफ जरूर असे. परंतु पुढें पुढें शिल्पकारांनीं उच्चदाबाच्या यंत्रास शीतक जोडण्याचीही योजना केली. म्हणून दोहोंवर्गांच्या यंत्रांतील मुख्य भेद म्हटला म्हणजे वाफेच्या दाबाची किंमत हाच केवळ आहे.

३१८. **दट्ट्याचा दांडा सरण्याचा जोर**—दट्ट्याचें क्षेत्र, दट्ट्याच्या नळांत येणाऱ्या वाफेचा दर चौरस इंचावरील दाब आणि शीतकांतील दाब म्हणजे दट्ट्याच्या खालच्या बाजूचा दाब या तीन गोष्टी समजल्या असतां दट्ट्याचा दांडा किती जोरानें सरत आहे, हें आपणास काढतां येतें. दट्ट्याच्या दोहों बाजूंस जो दाब असतो, त्या दोहोंच्या अंतरावर दट्ट्या सरण्याचा जोर अवलंबून असतो. असें समजूं कीं, नळांत आलेल्या वाफेचा दाब दरचौरस इंचावर २० पौंड आहे, व शीतकांतील दाब दरचौरस इंचावर २ पौंडांचा आहे, तर दट्ट्या ज्या जोरानें सरेल, तो जोर (२०—२) × १४४ = १८ × १४४ = २५९२ पौंड होईल. म्हणजे दट्ट्याचा दांडा २,५९२ पौंड एवढ्या वजनानें सरत असेल.

तापकांतील वाफेचा दाब न घेतां नळांतील वाफेचा दाब हिशेबांत घेतला पाहिजे हें लक्षांत ठेवावें. कारण जेव्हां यंत्र फार जलद चालतें आणि नळांत वाफ येण्याचीं द्वारें फार उघडलेलीं नसतात तेव्हां तापकांतील दाबापेक्षां नळांतील दाब फार कमी असतो.

३१९. **गिर्दी देणें**—दट्ट्या व त्याचा दांडा यांचें वजन बरेंच असतें. नळांत दट्ट्या जर खूप जलदीनें खालीं जात असतां तळावर पोंचण्यापूर्वीं त्याची गति क्रमशः कमी होत गेली नाहीं तर दट्ट्या नळाच्या तळावर फार जोरानें आदळून जरी नळास इजा

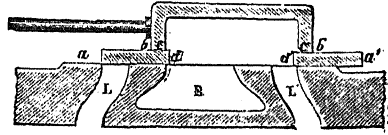
जाऊन स्थितिस्थापक गिर्दी दट्ट्यास प्रतिबंध करील आणि त्यामुळें नळाच्या बुडावर किंवा माथ्यावर दट्ट्या आदळणार नाहीं. हें खालीं लिहिल्याप्रमाणें यंत्रांत साध्य केलेलें असतें.

पुढें मागें सरणाऱ्या पडद्याची गति मध्यभ्रष्टाच्या (एक्सेंट्रिकच्या) वाटोळ्या पट्ट्यानें नियमित चाललेली असते; ह्मणून हा पत्रा आंसावर अशा रीतीनें बसविलेला असतो कीं त्याच्या योगानें नळांत दोहों शेवटांकडे कांहींशीं वाफ लौकर शिरते. याकरितां दट्ट्या शेवटपर्यंत पोंचण्या पूर्वींच त्यापुढें वाफ येऊन त्याची गति कमी होते व तो पुढें जाऊन आदळत नाहीं, ही योजना फार जलद चालणाऱ्या यंत्रांत फार अवश्य असते.

३२०. **प्रसरणानें काम करून घेणें:—** दट्ट्या अगदीं तळाशीं किंवा माथ्याशीं पोंचेपर्यंत जर नळांत वाफ येऊं दिली, तर फार दाब असलेली अशी वाफ शीतकांत किंवा हवेंत जाईल; आणि जिच्या अंगीं प्रसरणानें आणखी काम करण्याची शक्ति आहे अशी वाफ व्यर्थ जाऊन उपयुक्त कर्तृत्वशक्तीचा व्यर्थ व्यय होईल.

हा व्यर्थ व्यय न होण्याकरितां दट्ट्याचा ठोका पूर्ण होण्यापूर्वींच नळांत वाफ जाण्याचें बंद केलें पाहिजे; ह्मणजे दट्ट्या जितक्या अवकाशांतून जावयाचा त्यापैकीं कांहीं अवकाशांतून गेला कीं वाफ बंद झाली पाहिजे. पूर्ण ठोक्यांत ज्या अवकाशांतून दट्ट्या सरावयाचा असेल त्याचा $\frac{१}{२}$, $\frac{३}{४}$, $\frac{३}{८}$ किंवा दुसरा कोणताही अंश इतक्या अवकाशांतून दट्ट्या सरला कीं वाफ बंद करावी, आणि बाकी राहिलेल्या अवकाशांतून प्रसरण पावणाऱ्या वाफेच्या दाबानें किंवा जोरानें दट्ट्यास सरूं द्यावें.

म्यारिअटच्या सिद्धांतावरून हें उघड आहे कीं नळांत आलेली वाफ प्रसरण पावेल त्याप्रमाणें तिचा दाब कमी होईल; हा दाब कमीं होत जाऊन दट्ट्याचा वेग कमीं होत होत तो फार थोड्या जोरानें तळाशीं किंवा माथ्याशीं जाऊन पोंचेल, आणि नंतर जी वाफ शीतकांत किंवा हवेंत जाईल



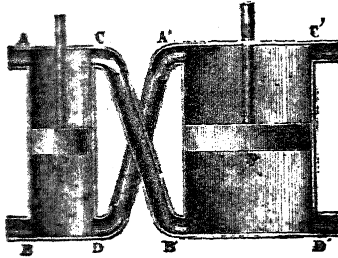
आकृति १४८ वी.

तीही कमीं जोराची असेल. याप्रमाणें शक्ति व्यर्थ जाणार नाहीं. हें कसें साधून घेतां येतें तें बाजूच्या आकृतींत दाखविलें आहे. (आ. १४८ पहा) पुढें मागें सरणाऱ्या सरक पडद्याचे (व्हाल्वाचे) a d, a' d' पत्रे, जीं द्वारें त्यांच्या योगानें बंद होतात त्यांहून मोठे व रुंद असतात. पडद्याच्या बाहेरच्या भागानें जास्त रुंद व मोठे असल्यामुळें वाफ जाण्याचें लवकर बंद होतें. परंतु E या द्वारानें वाफ शीतकांत जाण्याचें बंद होत नाहीं.

३२१. **संयुक्त यंत्रें.**—वर सांगितल्या प्रमाणें वाफेच्या प्रसरणानें काम करून घेतल्यानें शक्ति व्यर्थ जात नाहीं. परंतु वाफेचा दाब कमी होतो. तो कमी न होतां प्रसरण न पावणाऱ्या वाफेच्या दाबाइतका जवळ दाब प्रसरण पावणाऱ्या वाफेचा पडावा अशी एक योजना शिल्पकारांनीं केली आहे. एकंदर ज्या दाबानें दट्ट्या सरकतो तो दाब दर चौरस इंचावर जो वाफेचा दाब असतो तो दाब आणि दट्ट्याचें क्षेत्र या दोहोंच्या गुणाकाराबरोबर असतो. वाफेचा दाब कमी होतो तेव्हां दट्ट्याचें क्षेत्र वाढलें तर मूळच्या इतकाच एकंदर दाब पडेल.

याकरितां प्रसरणामुळें वाफेचा दाब कमी होतो तेव्हां जर जास्त क्षेत्राच्या दट्ट्यावर दाबण्याकरितां दुसऱ्या नळांत वाफ सोडण्याची योजना केली, तर कमी झालेला दाब बऱ्याच अंशीं भरून येईल.

बाजूच्या आकृतींत संयुक्त नळाची रचना दाखविली आहे. तापकांतून वाफ बंद केल्यावर प्रसरण पावलेली वाफ मोठ्या नळांत शिरून मोठ्या क्षेत्राच्या दट्ट्यास वर खालीं सारावें अशी योजना असते. हें कार्य कसें होतें याविषयीं तपशीलवार वर्णन करणें वाफेच्या यंत्रावरील या छोट्या प्रकरणांत अप्रासंगिक होईल. याकरितां एकंदरींत कार्य कसें घडतें एवढेंच सांगितलें आहे. प्रथम जेव्हां वाफेचा दाब जास्त असतो, तेव्हां तिचें कार्य लहान दट्ट्यावर होतें; आणि

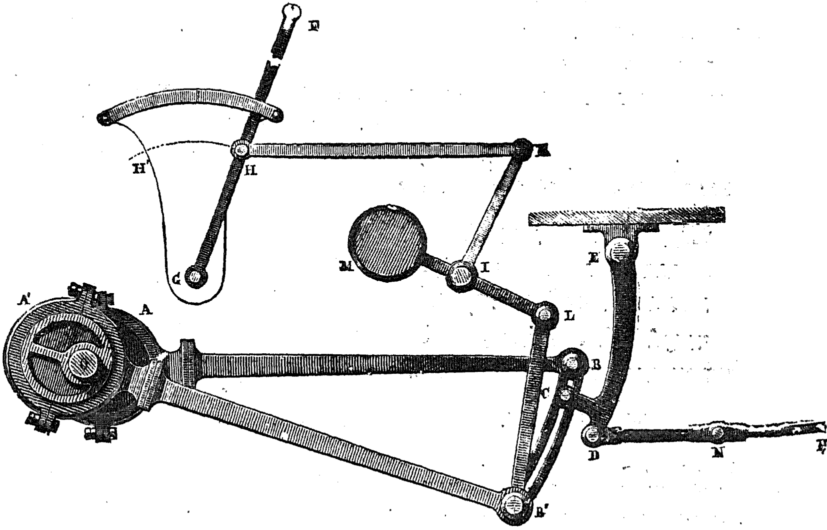


आकृति १४९ वी.

प्रसरणामुळें जेव्हां वाफेचा दाब कमी होतो तेव्हां दट्ट्याचा ठोका पूर्ण होईपर्यंत जास्त क्षेत्राच्या दट्ट्यावर तिला कार्य करण्यास लावण्याची योजना असते. यामुळें या योजनेच्या अभावीं यंत्राच्या गतींत असमता उत्पन्न झाली असती तितकी होत नाहीं व शक्तीही व्यर्थ जात नाहीं.

३२२. **सरक पडद्याची (स्लाइड व्हाल्व्हची) गति नियमित ठेवण्यासाठीं व तिची दिशा बदलण्यासाठीं केलेलें जोड काम.**— नळांत जो वाफेचा पुरवठा होतो तो जास्त कमी असा नियमित ठेवण्यास व यंत्राची गति हवी तेव्हां उलट सुलट करण्यास कांहीं साधन असावें असें कित्येक वेळां इष्ट असतें आणि गाड्या चालविण्याच्या वाफेच्या यंत्रांत तर नेहमीं याची जरूरी पडते. सरक पडद्यास हवी तशी उलट सुलट गति देण्याची योजना केल्यानें हें सिद्धीस नेतां येतें. हें साध्य करण्याकरितां स्टिफन्सन याणें जी साधी पण फार हिकमतीची योजना केली आहे तिचें वर्णन करूं. याच योजनेनें पूर्वीं सांगितलेलें जें प्रसरणापासून होणारें काम तेंही नियमित ठेवितां येतें. एकाच्या बदला A, A' असे दोन मध्यबाह्य (एक्सेंट्रिक) असतात. ते O या आंसावर आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें बसविलेले असतात. (आ. १३९ पहा.) यांचे दांडे B B' या चपटा व वक्र अशा धातूच्या तुकड्यास जोडलेले असून यास त्याच्या

योगानें गति मिळते. या तुकड्यास मध्य भागीं आकृतींत दाखविल्या सारखी फट पाडलेली असते. B′ L I K H या गजांनीं वरील तुकड्यास तोलून धरिलेलें आहे. I G E हे स्थिर कांटे आहेत. (आ. १५० पहा.) H K L B B′ D हे सरणारे कांटे आहेत. K I हा गज M I L या गजावर काटकोनाकार पक्का बसविलेला आहे. M हें एक मोठें वजन असून L B′ व B B′ यांस आणि B A व B′ A या दोन एक्सेंट्रिकच्या गजास I या टेंकूवर अंशतः तोलून धरितें. F H G हा एक उच्चालक असून त्याचा G हा टेंकू आहे. D N P हा दांडा सरक



आकृति १९० वी.

पडद्यास जोडलेला असून त्याच्या योगानें तो पडदा पुढें मागें सरतो. या गजास D F हा उच्चालक जोडलेला असून त्याच्या योगानें D P दांडा एकाच रेषेंत नेहमीं कार्य करूं शकतो. या गजाचा N सांध्यापुढील N P हा भाग दुसऱ्या घरांतून पुढें मागें सरत असतो, तीं घरें आकृतींत दाखविलेलीं नाहींत. A A′ हे मध्यबाह्य (एक्सेंट्रिक) ज्या रीतीनें बसविलेले आहेत, तिजवरून हें उघड आहे कीं, त्याच्या टोंकांस जोडणारा B B′ तुकडा अशा रीतीनें नेहमीं सरेल कीं, त्याचीं B B′ टोंकें नेहमीं परस्पर विरुद्ध अशा दिशांत फिरतील. आणि B B′ या दोहोंच्या बरोबर मध्यावरचा बिंदु मुळींच सरणार नाहीं. ज्या E D उच्चालकानें सरक पडद्याचा D P दांडा सरतो, त्यास जोडलेला C कांटा B B′ तुकड्याच्या फटींतून वरखालीं सरतो. जर C कांटा B टोंकापाशीं असला, तर त्याच्या भागीं अतिशय जोराची गति असते. आणि B′ या टोंकापाशीं असला, तर त्यास तितक्याच जोराची

24

गानें असते. परंतु वरच्याच्या उलट दिशेंत असते. जर C हा कांटा B B′ या तुकड्याच्या मध्याजवळ असला, तर त्याची गति थोडी असते व अगदीं मध्यबिंदूवर असला, तर त्यास मुळींच गति नसते.

यास्तव C कांट्याची गति आणि त्याबरोबर सरक पडद्याची गति C कांट्यास B टोंकापासून B′ टोंकाकडे सरकवून कमी करितां येईल, किंवा उलट करितां येईल. E D या उचालकानें C कांट्यास नियमित उंचीवर धरिलें असल्यानें तो B B′ या तुकड्याच्या फटींतून वर किंवा खालीं सरूं शकत नाहीं. परंतु वर वर्णन केलेल्या उचालकांच्या योजनेनें B B′ या तुकड्यासच सरकवितां येतें, व तेणेंकरून C तुकड्यास B B′ या दोहों मध्यें हव्या त्या इच्छित ठिकाणीं आणतां येतें.

C हा कांटा आकृतींत दाखविलेल्या ठिकाणीं असतां यंत्र चालू आहे असें समजूं.

जर F ही मूठ H कडे निमे अंतरावर फिरविली तर B B′ हा तुकडा वर उचलतो आणि त्यामुळें C कांटा B B′ याच्या मध्यभागीं पोंचतो. त्याचप्रमाणें C कांट्याची व सरक पडद्याची गति थांबते. आणि यामुळें नळांत वाफ जाण्याचें ही बंद होतें.

जर F मुठीस H′ पर्यंत सरकविलें, तर यंत्र पुनः चालू होतें, परंतु उलट दिशेनें चालतें. कारण सरक पडदा मागें येण्याच्या बदला आतां पुढें सरतो, व पुढें सरण्याच्या बदला मागें सरतो आणि याप्रमाणें यंत्राची गति उलट होते.

F या मुठीस पुढें मागें योग्य स्थळीं ठेवून वर दाखविल्याप्रमाणें यंत्राच्या गतीची दिशाच आपणास बदलतां येते, इतकेंच नाहीं, तर सरक पडद्याची गति ज्या अवकाशांतून व्हावयाची तो अवकाशही नियमित ठेवितां येतो, व या रीतीनें वाफेच्या प्रसरणानें हें काम करून घ्यावयाचें असतें, तेंही नियमित ठेवितां येतें.

१२३. फाजील उष्ण झालेली वाफ; नळांत वाफ थिजण्याचीं कारणें— दाबा असलेल्या थोरल्या नळांत पाणी जमून अडचण येऊं लागली असें लौकरच अनुभवास आलें. हें पाणी त्या नळांत तसेंच राहूं दिलें, तर त्यावर दट्ट्याचा दाब पडून पाण्याच्या दुःसंकोच्यत्वामुळें कदाचित् नळ फुटेल. म्हणून नळाच्या दोहों शेवटाकडे बाहेरच्या बाजूस उघडणारे असे दोन पडदे लावावे लागले. या पडद्यांस असा भक्कम कमानी असत कीं, वाफेच्या दाबानें उघडत नसत; परंतु पाण्यावर दट्ट्याचा दाब पडून जो पाण्याच्या दुःसंकोच्यत्वामुळें अतिशय दाब उत्पन्न होई, त्यानें मात्र उघडत, व पाण्यास बाहेर जाऊं देत. किंवा पडद्यांच्या जागीं दोन काक बसवीत, आणि ते काक मधून मधून उघडून आंतील वाफेच्या जोरानें पाण्यास बाहेर घालवीत. याप्रमाणें वाफेनें पाणी बाहेर घालवितात, हें आगगाडी स्टेशनावर थांबून पुनः निघाली म्हणजे याप्रमाणें तिच्या यंत्रांत वाफेनें पाणी बाहेर घालविण्याचा प्रकार दृष्टीस पडतो.

परंतु नळांत हें पाणीच होईल तितकें कमी जमावें म्हणून वापकांतून जी वाफ नळांत येते, ती एका उष्ण केलेल्या नळींतून जाऊं देतात. येणेंकरून जी वाफ

या योगानें नळांत कमी वाफ थिजते; मात्र वाफ फाजील उष्ण झाली असतां तिजपासून नळाच्या आंतल्या बाजूवर वाईट परिणाम घडतो.

नळांत वाफ थिजते, याचें कारण पूर्वी असें समजत असत कीं, नळ बाहेरच्या हवेनें शीत झाल्यामुळें हें घनीभवन होतें. म्हणून नळावर अगदीं अवाहक अशा पदार्थांचें आच्छादन घातल्यानें ही अडचण दूर होईल, असें अनुमान करण्यांत आलें. परंतु उष्णतेच्या अर्वाचीन कल्पनेवरून नळांत वाफ थिजण्याचें कारण निराळेंच आहे, असें समजतें. कांहीं परिमाणाची उष्णता खर्च करून काम करून घ्यावें, हाच केवळ वाफेच्या यंत्राचा उद्देश असतो. काम करण्यांत जी उष्णता खर्च होते, ती वाफेंतून मिळते. म्हणून जर परिप्लुत वाफ नळांत काम करीत असेल, तर नळावर कसल्याही अवाहकाचें आच्छादन घातलें तरी ती थंड झालीच पाहिजे. कर्तृत्वशक्तीच्या नित्यत्वाच्या सिद्धांतावरून उष्णता खर्च झालीच पाहिजे, व ती खर्च झाली म्हणजे कांहीं वाफ थिजलीच पाहिजे.

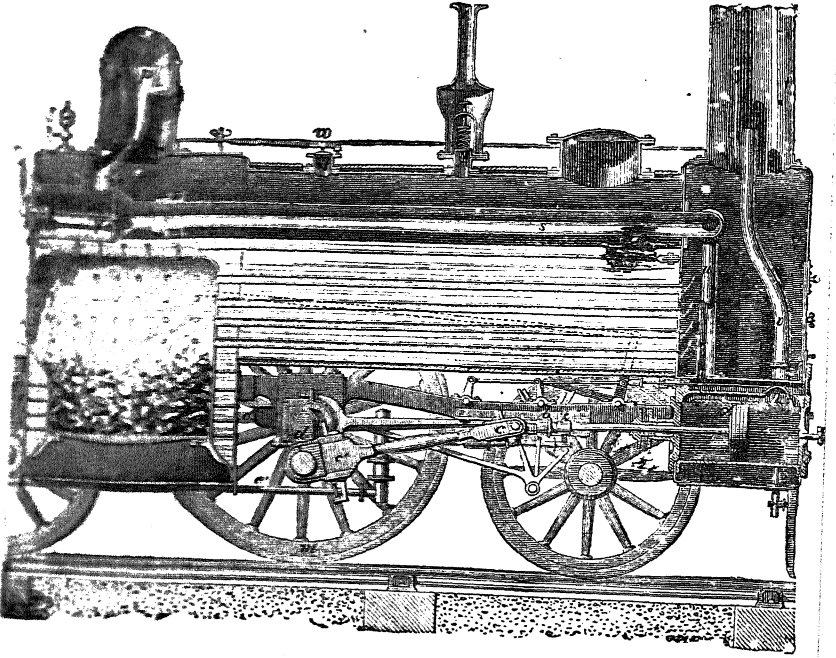
येथें हें लक्षांत ठेविलें पाहिजे कीं, वाफेची गुप्त किंवा अनुद्भूत उष्णता फार मोठी असते. म्हणूनच वाफ थिजून नळांत फार पाणी जमत नाहीं.

३२४. **गाड्या चालविण्याचें वाफेचें यंत्र.**—वाफेच्या यंत्रांत ज्या फार महत्वाच्या योजना असतात, आणि त्या संबंधानें जीं अनेक महत्वाचीं तत्त्वें निष्पन्न होतात त्यांपैकीं कांहीं सांगणें याहून जास्त वर्णन वाफेच्या यंत्रांवरील एका प्रकरणांत करितां येत नाहीं.

वाफेच्या शक्तीचे जसजसे नवेनवे उपयोग करण्याचें मनांत येऊं लागलें, त्या त्या प्रमाणें नव्यानव्या योजनांचा शोध लागूं लागला. वाफेच्या शक्तीचा गाड्या चालविण्यास कसा उपयोग करावा, या प्रश्नाचा उलगडा करीत असतां असे नवे शोध लावण्यास जें उत्तेजन मिळालें, तसें दुसऱ्या कोणत्याही कारणानें मिळालें नसेल.

वाफेच्या यंत्राचा गाड्या चालविण्याकरितां उपयोग करण्यासाठीं त्याच्या ज्या भागांत अतिशय फेरफार करावे लागले, ते भाग तापक व त्यास उष्ण करणारी भट्टी हे होत. हा वेळ पर्यंत आम्हीं तापकाचें वर्णन केलें नाहीं, व तें याच कलमांत करण्याकरितां राखून ठेविलें होतें. कारण आगगाडीच्या वाफेच्या यंत्रांचा जो तापक असतो, तो सर्व तापकांत उत्तम प्रतीचा असतो. आतां तापक व गाड्या चालविण्याच्या वाफेच्या यंत्राचे दुसरे मुख्य भाग यांचें वर्णन करूं.

(१) **तापक**—आगगाडीच्या यंत्राच्या तापकाची रचना अशी असावी लागते कीं, त्याचा आकार फार मोठा नसून त्यांत पाण्याची वाफ जलद व्हावी. आतां वाफ जलद होण्यास उष्ण करणारा पृष्ठभाग फार मोठा असला पाहिजे; हें खालीं लिहिल्या प्रमाणें साध्य केलेलें असतें. तापकांत एका टोंकापासून दुसऱ्या टोंकापर्यंत अनेक



आकृति १९१ वी.

[illegible] भक्कम नळ्या तापकाच्या दोहों शेवटांत गच्च बसविलेल्या असतात. या नळ्यांचीं दोन्हीं तोंडें उघडीं असून एकीकडील तोंडें भट्टींत आलेलीं असतात, व दुसरीं तोंडें धूर जाण्याच्या चिमणीखालीं सोडलेलीं असतात. असल्या नळ्या तापकांत १५० पासून १८० पर्यंत असतात; व या तापकांतील पाण्यांतून गेलेल्या असल्यामुळें पाण्यास उष्ण करणारा असा फार मोठा पृष्ठभाग अगदीं पाण्याच्या मध्य भागीं पसरलेला असतो. या नळ्यांत भट्टींतील उष्ण झालेले वायु शिरतात, व चिमणींतून बाहेर जातात. या मुळें या नळ्यांच्या योगानें बाष्पभवन फार जलद चालतें. या नळ्या आकृतींत दाखविल्या आहेत.

(२) भबका— आगगाडी चालविण्याच्या वाफेच्या यंत्रांत चिमणी फार उंच असूं शकत नाहीं. याकरितां या लहान नळ्यांतून बाहेर आलेले उष्ण वायु व भट्टींतील ज्योत यांस बाहेर चालविण्याजोगा जोर गिड्ड्या चिमणींत कसा उत्पन्न करावा, हा मोठा प्रश्न उत्पन्न झाला. ही गोष्ट खालीं सांगितल्या प्रमाणें योजना करून साध्य करण्यांत आली आहे.

[illegible] असती हवेत जाते. म्हणून ही वाफ सोडण्याची नळी चिमणींत आणून सोडतात; आणि तिजमधून वाफेचे भपके जोरानें बाहेर पडले, म्हणजे ही वाफ, चिमणींतील हवा व वायु यांस बरोबर घेऊन जोरानें वर चढते, आणि याप्रमाणें भट्टी, तापकाच्या नळ्या, आणि चिमणी यांतून फार जोराचा प्रवाह उत्पन्न होतो. आकृतींत v ही नळी चिमणींत वाफ नेणारी दाखविली आहे. जीं दुसरीं वाफेचीं यंत्रें थोडा वेळ काम करणारीं व इकडून तिकडे नेतां आणतां येण्याजोगीं असतात त्यांतही शीतक नसून नळांतील वाफ चिमणींत सोडलेली असते.

(३) **वाफ सांचण्या करितां घुमटाकृति खोली**—नळांत अगदीं कोरडी व शुष्क अशी वाफ जाणें फार अवश्य असतें. परंतु गाडीच्या यंत्रांत तिच्या गतीमुळें व वाफ फार जलद होत असल्यामुळें वाफेंत पाण्याचे तुषार फार असतात. हे तुषार होतील तितके कमी व्हावे म्हणून तापकाच्या माथ्यावर तापकाहून उंच अशी एक घुमटाकार खोली केलेली असते. तापकांतून वाफ या घुमटांत चढून तेथून यंत्रांत जाते. म्हणून वाफेचे बरेच तुषार घुमटाच्या पत्र्यास लागून चिकटून खालीं पडतात. आकृतींत दाखविलेल्या घुमटांतील P नळीनें घुमटांत वाफ जाते.

(४) **तापकांतून वाफ घेण्याची व तिला उष्ण करण्याची नळी**—p नळी s s या नळीस जोडलेली असून त्यांमध्यें *g* हा पडदा असतो व त्यास r या मुठीनें हवें तेवढें उघडतां व झांकतां येतें. s s नळी वाफेच्या पेटीशीं जोडलेली आहे, व तिजमधून नळांत वाफ जाते. परंतु तिजमधून पेटींत वाफ जाण्यापूर्वी *u* या नळींतून जाते, व ही नळी भट्टींतून आलेल्या उष्ण वायूंमध्यें असल्यानें उष्ण झालेली असते. म्हणून तिजमधून जाणारी वाफ ही जास्त उष्ण होते.

(५) **रक्षक पडदा**—तापकांत अतिशय दाब उत्पन्न होऊन तापक फुटण्याचें भय राहूं नये, म्हणून फाजील दाबाची वाफ निघून जाण्याकरितां ही एक साधी योजना असते. तापकास शंकाकार भोंक असून त्यांत एक शंकाकार गुडदी बसणारी असते, व ती बाहेरून मात्र उघडतां येते. या गुडदीस वर लोटून तापकांतील वाफ बाहेर जाऊं शकते. परंतु या गुडदीस जें वजन टांगलें असेल, त्याहून वाफेचा जोर जास्त होईल, तेव्हां मात्र गुडदीस वर उचलून वाफ बाहेर येऊं शकेल. साधारणतः एकाच ठिकाणीं राहण्याच्या यंत्रांत या गुडदीस एक आडवा गज लावून त्या गजास वजन टांगलेलें असतें. परंतु गाडीच्या यंत्रांत हें वजन इकडे तिकडे हालून पडेल म्हणून येवढ्याच वजनाच्या जोराची कमान लाविलेली असते; व यंत्र चालविणारास कमानीचा जोर हवा तेवढा नियमित ठेवितां ही येतो.

या शिवाय दुसरा एक रक्षक पडदा तापकास लाविलेला असतो, व त्यांतील क-

मानीचा दाब जास्त कमी करितां येत नाहीं. यामुळें कधींही वाफेचा जोर फाजील झाल्यास वाफ निघून जाऊन तापक फुटण्याचें भय असत नाहीं.

(६) **गाडास गति देणारीं, चाकें, तापक इत्यादि**—दट्टयाचा दांडा दोन लोखंट भोंकांमधून पुढें मागें सरकतो, व त्र्यांक, संधायक दांडा वगैरे योजनांच्या सहाय्यानें एक चाकाची जोडी फिरते. एका जोडीस तेवढ्याच आकाराची दुसरी चाकाची जोडी अडकविलेली असते, व दोन्ही जोड्या एकदम फिरतात, व येणें करून रुळांवर चाकें चांगलीं राहतात.

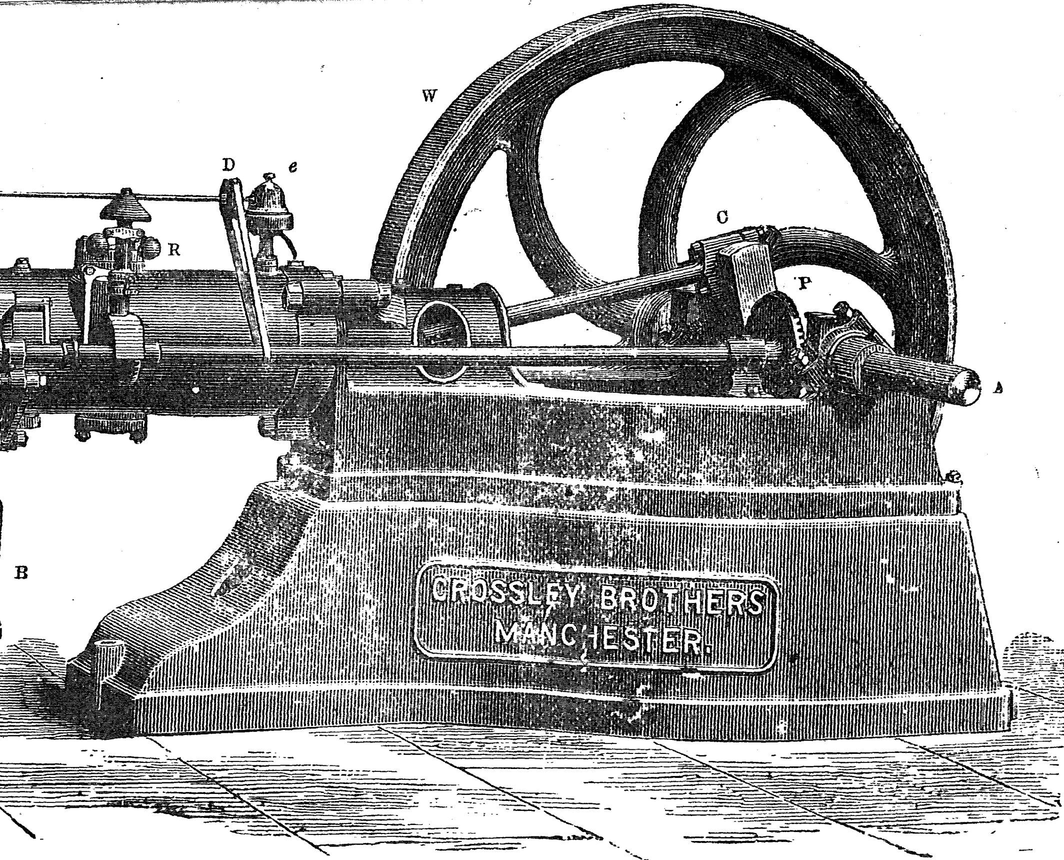
चाकाच्या एका जोडीच्या कण्यावर एक्सेंट्रिक म्हणजे मध्यबाह्य हें यंत्र गच्च बसविलेलें असतें, त्याच्या योगानें पुढें मागें सरणारा पडदा व दुसरे भाग फिरतात. यंत्राच्या दोहों बाजूस दोन नळ व दोन वाफेच्या पेट्या असतात. आणि चाकांच्या कण्यावर एकमेकांशीं काटकोनात असे त्र्यांक बसविलेले असतात. यामुळें जेव्हां एके बाजूस त्र्यांक मृतबिंदु किंवा स्थिरबिंदु स्थानीं येतो, तेव्हां दुसरा अत्यंत वेगाच्या स्थानीं असतो. यामुळें अशा स्थानीं यंत्र कधीं थांबत नाहीं.

(७) **गाडीची गति उलटण्याचा उचालक**—गति उलट्या दिशेस देण्याची जी योजना असते, तिचें वर्णन पूर्वीं केलें आहे. त्या योजनेचा कांहीं भाग बिंदुमय रेषांनीं दाखविला आहे, बाकीचा यंत्राखालीं असतो.

३२५. **वायूचीं उष्णतेनें चालणारीं यंत्रें**— वायूच्या एकदम उडण्यानें किंवा सावकाश जळण्यानें, उष्ण हवेनें व अशाच दुसऱ्या साधनानें चालणारीं यंत्रें अलीकडे फार उपयोगांत येत चाललीं आहेत.

त्या सर्वांचें मुख्य बीज असें असतें कीं, ज्या वायूचा किंवा वायूंचा दाब उष्णतेनें अतिशय वाढविला आहे, अशा वायूंकडून प्रसरण पावतांना काम करून घेतात. हें काम दट्टयास पुढें मागें सारण्याचें असतें; व याप्रमाणें दट्टया पुढें मागें सरला म्हणजे दट्टयाचा दांडाही सरतो, व सर्व यंत्र चालतें. हें काम करण्यांत कांहीं उष्णता खर्च होते. मागील प्रकरणांत उष्णतेनें चालणाऱ्या यंत्रांची जी साधारण उपपत्ति सांगितली, ती या सर्वांस लागू पडते. या सर्वांमध्यें कांहीं परिमाणाची उष्णता उच्च उष्णमानावरून नीच उष्णमानावर येते, आणि हिचा कांहीं अंश काम करण्यांत खर्च होतो. त्याच प्रकरणांत असें ही सांगितलें कीं, काल्पनिक असें उत्तम यंत्र असल्यास त्यामध्यें या अपूर्णांकाची किंमत उष्णतेच्या उत्पत्तिस्थानाचें उष्णमान व शीतकाचें उष्णमान या दोहोंवर अवलंबून असते आणि जीं यंत्रें प्रत्यक्ष उपयोगांत असतात, त्यांमध्यें ही किंमत याहूनही पुष्कळ कमी असते.

३२६. **ओटो नांवाचें वायूचें यंत्र**.— आजपर्यंत शोधून काढलेल्या वायुयंत्रांपैकीं हें उत्तम यंत्र त्याचें थोडें वर्णन येथें करूं. बाजूच्या आकृतींत त्याचें चित्र दिलें आहे, आणि खालीं यंत्राच्या निरनिराळ्या भागांचें साधारण वर्णन केलें आहे. व त्याच प्रमाणें दट्टया खालवर सरत असतां यंत्राचें कार्य कसें घडतें, याचें ही वर्णन केलें आहे. (आ. १५१ पहा).



आकृति १९२ बी.

नळ— आकृतींत डाव्या बाजूस हा नळ आडव्या स्थितींत दाखविला आहे. (१) नळ आंतल्या बाजूस असून त्यांतून दट्टया पुढें मागें सरतो; व तो इतका बळकट असतो कीं, वायूच्या उडण्यानें जो दाब उत्पन्न होतो, तो सहन करण्याचें त्याच्या अंगीं सामर्थ्य असतें. याच्या सभोंवार एक दुसरा नळ असतो, व त्यांत पाणी वहात असतें. हें पाणी आंतील नळाच्या सभोंवार असल्यानें तो फार उष्ण होत नाहीं. दट्ट्या खालीं म्हणजे मागें सरत असतां नळाच्या अगदीं बुडापर्यंत पोंचत नाहीं. दट्ट्याखालीं कांहीं अवकाश राहतो; त्या ठिकाणीं जळणारे वायु जमतात व उडतात. या अवकाशास वायु उडविण्याची जागा असें म्हणतात.

दट्ट्या, त्याचा दांडा आणि क्र्यांक— दट्ट्या नळांत मोठ्या हिकमतीनें अगदीं बरोबर बसता केलेला असतो. फिरत्या ठिकाणीं लावण्याचें उंच उष्णमान सहन करण्याजोगें एक विशेष प्रकारचें तेल असतें. दट्ट्याचा गज व क्र्यांक C हे नेहमीच्या आकाराचे असतात.

सरकपडदा (स्लाइड व्हाल), फिरविणारें दंतुरचक्र— नळाच्या S या टोंकाशीं कांहींशा बिकट रचनेचा सरकपडदा असतो; व त्याच्या योगानें नळांत वायु व हवा यांस नियमित रीतीनें सोडतां येतें, व मिश्रणास पेटवितां येतें. आकृतींत याचें सरणें आडवें व कागदाच्या पातळीस लंबाकार असें दिसत आहे. हा पडदा एक लांब गज व क्र्यांक यांच्या योगानें सरतो. गजाचें वाटोळें फिरणें उजव्या शेवटाकडे असलेल्या P या दंतुरचक्रानें घडतें; आणि हें दंतुरचक्र क्र्यांकच्या मुख्य A गजावर बसविलेल्या दुसऱ्या चक्राच्या दांतांतून फिरतें. A या गजावरील चक्राच्या परिघावर P या दंतुरचक्राच्या परिघावरील दांताच्या निमें दांत आहेत. म्हणून क्र्यांकचा गज A, व गतिचक्र (फ्लाय व्हील) W, यांचे दोन फेरे झाले म्हणजे P चक्र व त्याचा दांडा यांचा एक फेरा होतो. आणि सरकपडद्याची फक्त एक वेळ पुढें मागें फेरी होते.

हवा आंत येणें.— B या भोंकांतून साधारण दाबाखालीं असलेली हवा सरकपडद्याच्या पेटींत येतात. ही हवा नळांत सरकपडद्यानें उघड झांप होणाऱ्या भोंकांतून मात्र जाऊं शकते.

वायु आंत येणें.— सरकपडद्याच्या दरएक फेरीबरोबर नळांत हवा शिरते. परंतु सरकपडद्याच्या पेटींत एक निराळाच पडदा असतो, तो उघडला तर मात्र वायु किंवा वायु व हवा यांचें मिश्रण या पेटींत येऊन नळांत शिरतें. वायु आंत येण्याचा हा पडदा गव्हरनरानें (नियामकानें) जास्त कमी उघडतो.

नियामक (गव्हरनर).—ज्या गजावर सरकपडदा बसविलेला आहे, त्याच गजावर एक वर आलेला भाग असून त्याच्या योगानें कांहीं उच्चालकांवर कार्य होतें, व तेणेंकरून वायु येण्याचा पडदा उघडतो. व याप्रमाणें ज्या वेळीं नळांत वायु जावा असें इष्ट असतें, त्याच वेळीं वायु सरकपडद्यांत जाऊं शकतो. परंतु कमी कामामुळें किंवा दुसऱ्या अशाच कारणामुळें यंत्राच्या अंगीं प्रमाणभूत वेगापेक्षां जास्त वेग आला, तर

राहतो. या रीतीनें यंत्राचा वेग कमी होतांच गोट्या खालीं पडतात, व पडदा जास्त उघडतो, व वायु जास्त आंत जाऊन यंत्राचा वेग वाढतो. जेव्हां यंत्र आपल्या पूर्ण जोरानें चालत असतें, तेव्हां वायु आंत येण्याचा पडदा सरकपडद्याच्या जोरानें पूर्णपणें उघडतो. परंतु यंत्र जेव्हां पूर्ण काम करीत नसतें, तेव्हां हा पडदा सरकपडद्याच्या पांचव्या किंवा सहाव्या फेरीच्या वेळीं मात्र उघडतो.

उडणें— या यंत्रांत वायूंचें जळणें, किंवा उडणें, फार सावकाश घडतें. आरंभीं वायु उडण्याच्या स्थळीं ज्वलनापासून उत्पन्न झालेले कांहीं पदार्थ असतात. दट्ट्या खालीं जातांना हे पदार्थ बाहेर निघून जाऊं शकत नाहींत. यांच्या खालीं कांहीं हवा घेतात, व यामागें आणखीं कांहीं वायु व हवा घेतात. हे सर्व थर कांहीं अंशीं एकमेकांत मिसळतात, तथापि वायूंचें जळणें किंवा उडणें सावकाश घडतें, आणि यामुळें नळाच्या द्रव्यावर फाजील दाब न पडतां दट्ट्यावर चांगलें कार्य घडतें.

मिश्रणास पेटविण्याकरितां खालीं लिहिलेली योजना असते:— सरकपडद्यांत असें एक द्वार असतें कीं, त्याचा एका वेळीं बाहेरच्या हवेचा संबंध तुटून फक्त नळाशीं मात्र संबंध होतो. आणि दुसऱ्या वेळीं नळाशीं संबंध तुटून बाहेरील हवेशीं संबंध होतो. या द्वारांतून वायु व थोडी हवा घेतात, आणि सरकपडद्यांतील द्वार हवेशीं संबंध झालेलें असतें तेव्हां F F या नळींत जळत ठेवलेल्या ज्योतीनें हें मिश्रण पेटतें. आणि सरकपडदा दुसरीकडे सरतांच पेटलेल्या स्थितींतच नळांत शिरून तेथील वायूस पेटवितें.

ओंगण—E, E हीं दोन भांडीं ओंगणानें किंवा तेलानें भरलेलीं असतात. व तीं एका आडव्या गजानें परस्पर जोडलेलीं असून त्यां वरून D हा चामड्याचा पट्टा जातो, व त्याच्या गतीनें भांड्यांतील तेल सांध्यावर उतरतें. घर्षणाच्या ठिकाणीं जोडांवर नियमितपणानें तेल किंवा ओंगण मिळणें हें वायुयंत्रांत फार महत्वाचें असतें.

यंत्राचें एकंदर कार्य—वायु पेटून उडाल्यावर दट्ट्या अगदीं नळाच्या तोंडापाशीं आलेला आहे, असें समजूं. नंतर दट्ट्या खालीं जातांना जळून उत्पन्न झालेले वायु आपोआप उघड झांप करणाऱ्या पडद्यांतून बहुतेक नळांतून बाहेर जातात. परंतु ज्या ठिकाणीं वायु पेटून उडतात, तें ठिकाण मात्र किंवा तो अवकाश मात्र जळून उत्पन्न झालेल्या वायूंनीं भरलेला असतो.

याप्रमाणें दट्ट्या आंत गेल्यावर नळांत हवा घेतात, व तिचा थर जळलेल्या वायूच्या मागें जमतो. आणि नंतर त्या मागून हवेच्या मागें वायु व हवा यांचें मिश्रण नळांत घेतात. नियामकाच्या (गव्हरनराच्या) योगानें नळांत वायु घेण्याचा पडदा ज्या मानानें उघडेल, त्या मानानें हें मिश्रण नळांत जातें.

पुन्हा दट्ट्या आंत जातांना हे वायु संकोचित होतात, आणि सर्व पेटतात. आरंभीं दट्ट्या ज्या स्थितींत होता, त्या स्थितींत पुढें ढकलला जातो. याप्रमाणें दट्ट्याच्या पुढें मागें सरण्याच्या दोन फेऱ्या पुऱ्या झाल्या ह्मणजे यंत्राचें एकवार पूर्णपणें कार्य घडतें.

उष्णतेनें चालणाऱ्या यंत्राविषयीं याहून जास्त वर्णन पाहाणें असेल, त्यांनीं केवळ याच विषयावर लिहिलेल्या पुस्तकामध्यें पाहावें. निरनिराळ्या यंत्रांतील यांत्रिक योजनांचें जें तांत्रिक वर्णन केलें, त्यांतच कांहींसें विषयांतर झालें आहे. परंतु वाफेच्या यंत्राच्या मुख्य तत्वांचें कांहीं ज्ञान वाचकांस व्हावें, आणि दुसऱ्या पुस्तकांवरून त्यांनें पूर्ण अध्ययन करण्यास सुलभ पडावें, या हेतूनें आम्हीं हें विषयांतर केलें आहे.

समाप्त.

प्रकरण २.

(६) $\frac{२\sqrt{३}}{३}$ फूट, म्हणून जाळीच्या आंदोलकाचे सर्व गज सारख्या लांबीचे असले पाहिजेत. (९) ·००००१८०९; (१२) ·१२२४ इंच; (१३) ३१६·८ यार्ड; (१४) ·००००२७; (१५) सुमारें ४५·३४९ घनइंच; (१६) सुमारें १३·२२ चौरसइंच ; (१७) ५·००४६ फूट; (१८) १०·००२२ आणि ९·९९७८ चौरसफूट. (१९) १००२·४ घनशतांशमात्रा. (२०) ·९९७ आणि १·००३ घनफूट. (२१) सुमारें ११·२६. (२२) ३५·९९९ इंच.

प्रकरण ३.

(५) प्रमाण १३:५; (६) ·०००४१७ सुमारें. (८) ·०००१३ सुमारें. (९) ·००००१९ आणि ·०००२१९; (१०) ·००००२५९. (११) सुमारें ४·४८ ग्रेन. (१२) प्रमाण २७:१; (१३) सुमारें $\frac{१}{६६००}$; (१४) १३·१७६. (१५) ·०५३५७.

प्रकरण ४.

(१) $८\frac{४}{७}$ घनइंच. (२) $११२\frac{३७}{२९}$ घनशतांश मात्रा ; (३) $१०२\frac{२६}{२७}$ घनशतांश मात्रा; (४) ·१२ इंच; (५) सुमारें २११२·६८; (६) ३० इंच; (८) $\frac{३}{९}$, आणि $२\frac{२}{९}$ पौंड; (९) ५००० घनफूट; (१०) ५८ इंच पारा; (११) $३६\frac{२}{३}$ घनफूट.

प्रकरण ५.

(४) $७६९४\frac{४}{९}$ आणि $३९६९\frac{३३}{८१}$ घनफूट. (५) १३६·६३ घनमात्रा. (७) सुमारें १·२९ लिटर. (८) सुमारें ११·१७ लिटर. (९) सुमारें १··२३० ग्राम. (१०) सुमारें ७१·४६ पौंड; (११) सुमारें ३६८०° श. (१२) हवेच्या ३·५, ४·०४१७ आणि ३·६८ पट दाब. (१३) ६१·१ ग्रेन सुमारें.

प्रकरण ७.

(८) १·५२४; (९) प्रमाण २०:९. (१०) सुमारें ·०२३७ औंस. (११) ८०३ सहस्रांश मात्रा. (१२) सुमारें ·५८८ औंस. (१३) सुमारें ७२ पौंड.

प्रकरण ९.

(३) सुमारें ०·५०३; (४) ०·७४८; (५) ७२१·७.

प्रकरण १०.

(२) प्रमाण ३·६८:१; (३) ८:९; (४) ·००५३; (५) ·००२७.

प्रकरण ११.

(३) ·०३; (४) ·१२५; (५) ८·४ औंस. (७) सुमारें ३०°·२ श. (८) सुमारें ·०५; (९) १३५ ग्राम. (१०) सुमारें १९·४ ग्राम. (११) सुमारें ·०३३ (१२) ०.११७२; (१३) ०.०८४ औंस सुमारें. (१४) ५३६; (१५) सुमारें ५३४.४; (१६) सुमारें ८४°·४ श.

प्रकरण १२.

(३) ११२° $\frac{३}{२}$ फा.

प्रकरण १३.

(१) ३५००, २९५६८० आणि ५$\frac{६}{७}$ फुटपौंड. (२) ११$\frac{३}{४}$ फुटपौंड. (३) सुमारें ·४१९ फुटपौंड. (४) सुमारें १७,२९,१२० फुटपौंड. (६) ३५९६·६२ फुटपौंड. (७) ६४·४ पौंड शतभाग अंश उष्णता. (८) ११६७६० पौंड शतभाग अंश उष्णता. (९) ३°·९८ फा. आणि ३°·४१ फा. (१०) एका सेकंदास ९९·२ फूट: (११) ११७७५·६; (१२)९,९५,२४० फुटपौंड. (१३) $\frac{९}{३१}$; (१४) २५,०२० फुटपौंड. (१५) सुमारें दरसेकंदास २०० फूट.

BOMBAY: PRINTED AT THE EDUCATION SOCIETY'S PRESS, BYCULLA.

इंग्रजी पारिभाषिक शब्दांस जे मराठींत शब्द दिले आहेत त्यांची यादी.

अंडाकार स्थिति .... Spheroidal state.
अंतर्गत काम .... Internal work.
अनुद्भूत उष्णता .... Latent heat.
अर्क काढणें .... To distil.
आकारमान .... Volume.
आकाशमापक .... Æthrioscope.
आगगाडीचें यंत्र .... Locomotive.
आर्द्रता .... Humidity.
——दर्शक .... Hygroscope.
——मापक .... Hygrometer.
इंधक .... Ether.
उच्च दाबाचें यंत्र .... High pressure engine.
उत्तम उष्णतायंत्र .... A perfect engine.
उष्णताभेद्य .... Diathermanous.
——अभेद्य .... Athermanous.
——जन्यविद्युन्माला .... Thermo-electric pile.
——द्रव .... Caloric fluid.
——मापक .... Calorimeter.
——मापन .... Calorimetry.
उष्णतायंत्र .... Heat engine.
————याचें सामर्थ्य .... Efficiency of a heat engine.
उष्णतेचा यांत्रिक सममूल्य ...... Mechanical equivalent of heat.
उष्णतेची विसृति किंवा परीक्षेप अगर विक्षेपन .... Diffusion of heat.
उष्णतेचें परिमाण .... Quantity of heat.
उष्णतेविषयीं यांत्रिक कल्पना ...... Mechanical theory of heat.
ऊर्ध्वपातन (अर्क काढणें)......... Distillation.
एका बाजूनें कार्य करणारें यंत्र ... Single acting engine.

भोल्या व कोरड्या फुग्याचें आर्द्रता-
मापक .... Wet and dry bulb hygrometer.
कढण्याचा बिंदु .... Boiling point.
कर्तृत्व शक्ति .... Energy.
————गतिविशिष्ट ...... Kinetic energy.
————यांत्रिक .... Mechanical energy.
————संभाव्य .... Potential energy.
————स्थानविशिष्ट ...... Energy due to position.
————चा विक्षेप .... Dissipation of energy.
————चें नित्यत्व .... Conservation of energy.
कांचेचें घर .... Glass house or green house.
कायमचे किंवा नित्य वायू......... Permanent gases.
किरणविसर्जन.................. Radiation of heat.
किरणांचें संशोधन .... Sifting of rays.
केंद्र .... Focus.
केवल उष्णमान .... Absolute temperature.
——शून्य उष्णमान............ Absolute zero of temperature.
गतिचक्र .... Fly-wheel.
गतिविशिष्ट कल्पना .... Dynamical theory.
गिरदी देऊन काम करून घेणें ... Cushioning.
गुरुत्व उष्णमापक............... Weight thermometer.
घनीभवन .... Solidification.
————याचें किंवा थिजण्याचें उष्णमान .... Solidifying or freezing temperature.
जाळीचा आंदोलक .... Gridiron pendulum.
तापक .... Boiler.
तुलाचक्र........................ Balance wheel.
तुल्यगोष्टी .... Analogies.
तुल्यता आणणारें उष्णमान ...... Temperature of equilibrium.
त्रिकोणी कांच .... Prism.
थिजण्याचा बिंदु .... Freezing point.
दट्ट्या .... Piston.
दंवाचा बिंदु दर्शविणारें आर्द्रता-
दर्शक .... Dew point hygrometer.
दाढ्ये.......................... Density.

दोहों बाजूंनीं कार्यकरणारें यंत्र ... Double acting engine.
द्रवीभवन किंवा द्रवीकरण......... Liquefaction.
नळ .... Cylinder.
नियामक .... Governor.
नीच दाबाचें यंत्र .... Low pressure engine.
पडदा .... Valve.
पतनकिरण..................... Incident ray.
परम दाब्यांचा जोर .... Maximum tension.
परावृत्तकिरण .... Reflected ray.
परिप्लुतता .... Saturation.
——वाफ .... Saturated vapour.
पानसळ......................... Water level.
पृथग्भूतकिरण .... Decomposed ray, spectrum.
प्रसरण .... Expansion.
——अनियमित .... Irregular expansion.
——खरें किंवा केवल .... Real or absolute expansion.
प्रसरणगुणक .... Co-efficient of expansion.
———केवल.................. Real co-efficient of expansion.
———घन प्रसरणाचा......... Co-efficient of cubic expansion.
————दृश्य............... Do. of apparent expansion.
————लांबीचा............ Do. of lineal expansion.
————क्षेत्राचा .... Do. of superficial expansion.
प्रसरण-दृश्य .... Apparent expansion.
प्रसरणानें काम करून घेणें ...... Expansive working.
प्रापण प्रवाह...................... Convection current.
फाजील उष्ण वाफ.............. Superheated steam.
बाह्यकाम .... External work.
भारमापक .... Barometer.
भेदोष्णमापक .... Differential thermometer.
भौतिक अर्थ .... Physical meaning.
मंदविसर्जक .... Bad radiator.
——शोषक...................... Bad absorber.
मध्यबाह्य .... Eccentric.
महत्तम उष्णमापक ... . Maximum thermometer.
रक्षक दिवा...................... Safety lamp.

रक्षक पडदा .... Safety valve.
रिक्त अवकाश .... Vacuum.
लघुत्तम उष्णमापक .... Minimum thermometer.
लवलवीतपणा .... Viscous state.
लहरीरूप कल्पना .... Theory of undulation or wave theory.
वहन .... Conduction.
वाफेचा जोर .... Tension of vapour.
वाफेचें यंत्र .... Steam engine.
वायुचक्रशास्त्र .... Meteorology.
वायुयंत्रें .... Gas engines.
वाहकत्व .... Conductivity.
विद्युन्मापक .... Galvanometer.
विनिमय कल्पना .... Theory of exchanges.
विशिष्ट उष्णता .... Specific heat.
विशिष्ट शोषण आणि विसर्जन ... Selective absorption and radiation.
विसर्जन .... Radiation.
शतभाग उष्णमापक .... Centigrade thermometer.
शीघ्र विसर्जक .... Good radiator.
शीतक .... Condensor.
शीतताजनक मिश्रण .... Freezing mixture.
शोषण .... Absorption.
संधायक दांडा .... Connecting rod.
सरकपडदा .... Slide-valve.
सरूप आरसे .... Conjugate mirrors.
स्थिरबिंदु .... Fixed points.
हवा खेळणें .... Ventilation.

Works in the Marathi Language by the same Author.

SCIENTIFIC.

	Rs.	a.	p.
Mechanics, Vol. I. (Statics)..	2	0	0
Inorganic Chemistry, Vol. I. (Non-metals)	2	8	0
Do. do. Vol. II. (Metals)...........................	2	0	0
Do. do. Vol. III. (Metals)	2	4	0
Elementary Treatise on Physics, Vol. I......................	3	0	0
Do. do. Vol. II. (Electricity & Magnetism)...	3	8	0
Do. do. Vol. III. (in the Press)(Sound & Light)	......		
Information on Common Objects, Part I. (Minerals) ...	1	0	0
Larden's School Course on Heat (Translated)	3	0	0
Cooke's Natural Philosophy (Translated)..................	0	8	0
Cooke's Chemistry (Translated)..............................	0	10	0
Huxley's Introductory Primer (Translated)	0	12	0
Way to Health (Translated)	0	1	6

HISTORICAL.

History of the Kolhapur Principality, Vol. I.	1	8	0
Do. do. do. Vol. II. (In the Press)	......		
History of the Southern Maratha States	1	8	0
History of the Mahomedan Kingdoms in the Deccan—			
Vol. I. Bahamini Kingdom.......................	2	0	0
Vol. II. Bijapoor Adilshahi Kingdom	2	0	0
Vol. III. Ahmadnagar, Golconda, Bedir & Berar Kingdoms (In the Press). ...	......		
Short History of the Mahomedans in India	0	6	0
Chronological Tables (1728 to 1895)	2	8	0
Kolhapur Gazetteer (Translated)	4	8	0

26

याच ग्रंथकाराचीं पुस्तकें.

शास्त्रीय.

	किंमत रुपये.
यंत्रशास्त्र पूर्वार्ध	२
रसायनशास्त्र पूर्वार्ध (अधातुरूपतत्वें)	२८८
सदर उत्तरार्ध भाग १ (धातुरूपतत्वें)	२
सदर सदर भाग २. सदर व कर्तव्य रसायनशास्त्र	२८४
सृष्टिशास्त्र पूर्वार्ध—जलशास्त्र, वायुशास्त्र व उष्णता	३
सदर उत्तरार्ध भाग १—विद्युत् आणि चुंबन	३८८
सदर भाग २—ध्वनिशास्त्र व प्रकाशशास्त्र (छापत आहे).	
लार्डनकृत उष्णताशास्त्राचें भाषांतर	३
पदार्थवर्णन भाग १	१
कुककृत पदार्थविज्ञानाचें भाषांतर	८८
कुककृत रसायनशास्त्राचें भाषांतर	८२०
बालशिक्षाग्रंथमाला उपोद्घात	८२२
आरोग्यमार्ग (वे टु हेल्थ याचें भाषांतर)....................................	८२८६

ऐतिहासिक.

कोल्हापूर राज्याचा इतिहास भाग १	१८८
सदर भाग २ (छापत आहे).	
कर्नाटकांतील पटवर्धन, मुधोळ, रामदुर्ग, सावनूर, निपाणी, नरगुंद, किचूर वगैरे संस्थानांचा इतिहास	१८८
दक्षिणेंतील मुसलमानी राज्यांचा इतिहासिक.	
भाग १. ब्राह्मणी राज्याचा इतिहास	२
भाग २. विजापूरच्या आदिलशाही राज्याचा इतिहास......	२
भाग ३. अहमदनगर, गोवळकोंडें, बेदर, वऱ्हाड येथील राजांचा इतिहास (छापत आहे).	
शक व सन, तिथी व तारीखवार यांची जंत्री सन १७२८—१८९५......	२८८
कोल्हापूर व कर्नाटक प्रांताच्या ग्याझिटिअरचें भाषांतर	४८८
मुसलमानी राज्याचा संक्षिप्त इतिहास	८६